



**Simão Pedro Figueira  
Lopes**

**Desenvolvimento do dossier técnico e aplicação  
para gestão de maquinagem com tecnologia CNC**





**Simão Pedro Figueira  
Lopes**

**Desenvolvimento do dossier técnico e aplicação  
para gestão de maquinagem com tecnologia CNC**

Tese apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Doutor António Manuel Godinho Completo, Professor Auxiliar com Agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro





## **o júri**

Presidente

Prof. Doutor João Paulo Davim Tavares da Silva  
professor associado c/ agregação da Universidade de Aveiro

Vogal - arguente principal

Doutor Jorge Américo Oliveira Pinto Belinha  
professor auxiliar convidado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Vogal - Orientador

Prof. Doutor António Manuel Godinho Completo  
professor auxiliar c/ agregação da Universidade de Aveiro



## **agradecimentos**

À minha família e namorada pelo apoio ao longo de todo o meu percurso académico.

À empresa Atena – Automação Industrial e a todos os seus colaboradores, em especial ao setor da maquinaria, pelo acolhimento e pela disponibilidade demonstrada.



**palavras-chave**

Maquinagem, torneamento, metrologia, ferramentas de corte, controlo de produção, aplicação informática

**Resumo**

O presente relatório descreve as atividades desenvolvidas no Estágio Curricular, integrado no Mestrado em Engenharia Mecânica, na empresa Atena – Automação Industrial, Lda, com sede em Oliveira do Bairro. A empresa Atena projeta e produz soluções de automação e controlo industrial personalizadas às necessidades dos clientes. O estágio teve a duração de um semestre, passado a tempo inteiro na empresa. Este estágio tinha como objetivo a preparação, planeamento e execução de componentes com a tecnologia de maquinagem CNC. Paralelamente foi ainda desenvolvida uma aplicação informática para o controlo e gestão da produção com tecnologia CNC. O estudante acompanhou as atividades diárias do setor da maquinação da empresa, permitindo um contacto direto com a realidade industrial e consolidação de conhecimentos relacionados com a maquinagem CNC.



**keywords**

Machining, turning, metrology, cutting tools, production control, management software

**abstract**

This report describes the activities developed in the internship, integrated in the Master in Mechanical Engineering, at the company Atena - Automação Industrial, Lda, based in Oliveira do Bairro. The company Atena designs and produces industrial automation and control solutions customized to the clients' needs. The internship had a duration of one semester, spent in full time at the company. This internship was aimed at the preparation, planning and execution of components with CNC machining technology. At the same time, a computer application was developed for the control and management of CNC production. The student followed the daily activities of the machining sector of the company, allowing a direct contact with the industrial reality and consolidation of knowledge related to CNC machining.





# Índice

1.	Introdução .....	1
1.1.	Objetivos .....	1
1.2.	Motivação .....	1
1.3.	Estrutura do documento .....	1
2.	Aspetos gerais da tecnologia de maquinagem por arranque de apara .....	3
2.1.	Geometria das Ferramentas de Corte .....	3
2.2.	Desgaste de Ferramentas.....	4
2.3.	Maquinabilidade e Materiais.....	6
2.3.1.	Grupo P – Aços .....	7
2.3.2.	Grupo M – Aços Inoxidáveis .....	8
2.3.3.	Grupo K – Ferro Fundido.....	8
2.3.4.	Grupo N – Materiais Não Ferrosos .....	8
2.3.5.	Grupo S – Superligas.....	9
2.3.6.	Grupo H – Ligas Endurecidas .....	9
2.4.	Sistemas de posicionamento e fixação e simbologia associada .....	10
2.4.1.	Dispositivos de fixação em fresadoras .....	10
2.4.2.	Dispositivos de fixação em torneamento.....	13
2.4.3.	Simbologia de dispositivos de fixação .....	14
2.5.	Seleção de Ferramentas.....	15
2.5.1.	Brocas.....	15
2.5.2.	Fresas .....	17
2.5.2.1.	Fresas de pastilhas/topos removíveis .....	17
2.5.2.2.	Fresas inteiriças de navalhas .....	18
2.5.3.	Mandris .....	18
2.5.4.	Machos .....	19
2.5.5.	Torneamento .....	19
2.5.5.1.	Insertos de torneamento .....	19
2.5.5.2.	Torneamento Interior .....	21
2.5.5.3.	Sangrador.....	22
2.5.5.4.	Buril .....	22
2.5.5.5.	Ferro de recartilhar.....	22
2.5.6.	Suportes Ferramenta.....	23
2.5.7.	Materiais e Revestimentos das Ferramentas.....	24
2.5.7.1.	Aço Rápido (HSS) .....	25
2.5.7.2.	Carbonetos Sinterizados.....	25
2.5.7.3.	Carbonetos Sinterizados Revestidos .....	26
2.5.7.4.	Cermets .....	27
2.5.7.5.	Cerâmicos .....	27
2.5.7.6.	Ultra Duros .....	28
2.6.	Cadeia/transferência de cotas de fabricação.....	29
2.7.	Sobre-espessura para maquinagem .....	31
2.8.	Elaboração de sequência maquinagem e gama de controlo e documentação (Fichas de fase) .....	33
3.	Maquinagem CNC e Sistemas CAD/CAM .....	37
3.1.	Centros de Maquinagem .....	37
3.1.1.	3 Eixos.....	38
3.1.2.	4 Eixos.....	39
3.1.3.	5 Eixos.....	39
3.2.	Torno.....	40
3.2.1.	Ferramentas Motorizadas .....	42
3.2.2.	Árvore Dupla.....	43
3.2.3.	Tipo Suíço .....	43
3.3.	Máquinas Multitarefa.....	44
3.4.	Sistemas CAD/CAM.....	45
3.4.1.	Programação Conversacional .....	45
3.4.2.	Programação com programas CAM .....	46

4.	Meios de fabricação e controlo.....	47
4.1.	Meios de controlo .....	48
4.1.1.	Aparelhos de medição manual .....	48
4.1.2.	Aparelhos de medição automática.....	52
4.1.3.	Dispositivos de controlo dimensional .....	54
5.	Casos de estudo .....	55
5.1.	Caso de estudo 1 - Maquinagem prismática.....	55
5.1.1.	Sequência de maquinagem .....	56
5.1.2.	Cadeia de cotas.....	57
5.1.3.	Fichas de Fase .....	57
5.1.4.	Programação.....	58
5.1.5.	Maquinagem.....	60
5.1.6.	Resultados do controlo metrológico.....	64
5.1.7.	Discussão .....	66
5.2.	Caso de estudo 2 - Maquinagem de uma peça de revolução simples.....	68
5.2.1.	Sequência de maquinagem .....	69
5.2.2.	Cadeia de cotas.....	70
5.2.3.	Ficha de fase.....	71
5.2.4.	Programação.....	72
5.2.5.	Maquinagem.....	72
5.2.6.	Resultados do controlo metrológico.....	74
5.2.7.	Discussão .....	75
5.3.	Caso de estudo 3 – Maquinagem de peça com operações de torneamento e fresagem .....	77
5.3.1.	Sequência de maquinagem .....	78
5.3.2.	Cadeia de cotas.....	79
5.3.3.	Fichas de Fase .....	79
5.3.4.	Programação.....	80
5.3.5.	Maquinagem.....	82
5.3.6.	Resultados do controlo metrológico.....	85
5.3.7.	Discussão .....	87
5.4.	Caso de estudo 4 – Desenvolvimento de aplicação informática para a gestão de produção com tecnologia CNC .....	89
5.4.1.	Enquadramento .....	89
5.4.2.	Desenvolvimento da Aplicação.....	91
5.4.3.	Interface da aplicação.....	93
5.4.4.	Discussão .....	97
6.	Conclusões e trabalhos futuros.....	99
	Bibliografia .....	100
	ANEXOS .....	103
I.	Graus de tolerância normalizados - Simões Morais(p.183).....	104
II.	Relação de tolerâncias e rugosidades - Simões Morais(p.233) .....	105
III.	Processos particulares - tratamentos térmicos.....	106
IV.	Desenho Técnico – Caso de Estudo 1 .....	107
V.	Sequência Maquinagem – Caso de Estudo 1 .....	108
VI.	Cotagem de Fabrico – Caso de Estudo 1 .....	110
VII.	Fichas de Fase – Caso de Estudo 1 .....	111
VIII.	Desenho Técnico – Caso de Estudo 2 .....	117
IX.	Sequência de Maquinagem – Caso de Estudo 2.....	118
X.	Fichas de Fase – Caso de Estudo 2.....	119
VIII.	Caso Estudo 2 - Código G.....	124
IX.	Desenho Técnico – Caso de Estudo 3 .....	126
X.	Sequência de Maquinagem – Caso de Estudo 3 .....	127
XI.	Cotagem Fabrico - Caso de Estudo 3 .....	128
XII.	Fichas de Fase - Caso de Estudo 3 .....	129
XIII.	Caso de Estudo 3 – Mordentes Brandos .....	133
XIV.	Caso Estudo 3 - Código G (Torno) .....	134
XV.	Mapa de variáveis – Caso de estudo 4 .....	136
XVI.	Interface Gráfica – Caso de Estudo 4.....	137

## Índice figuras

Figura 1 - Zona ativa da ferramenta [1].....	3
Figura 2 - Ângulos característicos da ferramenta de corte [1].....	4
Figura 3 - Fatores que afetam a maquinabilidade [5] .....	6
Figura 4 - Divisão de Materiais proposta pela Kennametal.....	7
Figura 5 - Fixação direta à mesa.....	10
Figura 6 - Placa de Fixação [7] e sistema de aperto rápido (Ball Lock)[34] .....	10
Figura 7 - Blocos de fixação em V [35] .....	11
Figura 8 – Prensa de Fixação Modular.....	11
Figura 9 - Mordentes Brandos.....	11
Figura 10 - Gabaritos de múltiplas posições [37].....	12
Figura 11 - Mesa Magnético [38] (esq); Mesa de vácuo (dir)[39] .....	12
Figura 12 - Pinça de aperto [40] .....	13
Figura 13 - Símbolo representativo de um aperto .....	14
Figura 14 - Brocas Helicoidais .....	16
Figura 15 - Broca de ponto.....	16
Figura 16 - Broca de insertos (esq) e broca de ponta intercambiável (dir) .....	16
Figura 17 - Brocas canhão.....	17
Figura 18 - Brocas escalonadas .....	17
Figura 19 - Fresa de insertos de facejar.....	17
Figura 20 - Fresas de Topo (esq) fresa de topo removível (dir) .....	17
Figura 21 - Fresa de disco .....	17
Figura 22 - Fresas de navalhas .....	18
Figura 23 - Fresa de forma para o' rings.....	18
Figura 24 - Cabeça de mandrilar .....	19
Figura 25 - Cabeças de roscar e vários tipos de machos .....	19
Figura 26 - Ferramenta de tornamento exterior.....	19
Figura 27 - Formas de insertos .....	20
Figura 28 - Ângulos de saída.....	20
Figura 29 - Tolerância de espessura e comprimento da aresta [41].....	20
Figura 30 - Quebra aparas .....	21
Figura 31 - Espessura (esq) e raio de ponta (dir) do inserto .....	21
Figura 32 - Tamanho aresta de corte .....	21
Figura 33 - Barra de torneamento interior .....	21
Figura 34 - Ferramentas de ranhurar .....	22
Figura 35 - Ferramentas de roscar a buril.....	22
Figura 36 - Padrões e ferramentas de recartilhar .....	23
Figura 37 - Suportes ferramenta .....	23
Figura 38 - Cones de aperto.....	23
Figura 39 - Dureza dos materiais versus a temperatura.....	24
Figura 40 - Dureza versus Tenacidade .....	25
Figura 41 - Diferentes tipos de revestimentos de carbonetos [2].....	27
Figura 42 - Cadeia de cotas .....	30
Figura 43 - Representação das cotas funcionais e de fabrico [10].....	30
Figura 44 - Sobre-espessuras numa peça obtida por fundição [11] .....	32
Figura 45 - Exemplo de aplicação de material suplementar [10] .....	33
Figura 46 - Seleção da superfície de partida.....	34
Figura 47 - Vários tipos de centros de maquinagem a) Centro Horizontal b) Centro Vertical c) Router d) Mesa fixa .....	38
Figura 48 - Orientação dos eixos num centro de maquinagem vertical (esq) e horizontal (dir).....	38
Figura 49 - Exemplo de aplicação do 4º eixo indexante (esq) e 4º eixo contínuo (dir) .....	39
Figura 50 - Sistema de Eixos de translação e rotação.....	40
Figura 51 – Mesa de 5 eixos adaptada a um centro vertical (esq) centro de maquinagem vertical e 5 eixos ..	40
Figura 52 - Elementos constituintes de um torno CNC .....	41
Figura 53 - Célula de fabrico com torno vertical.....	41
Figura 54 - Exemplo de um torno com carregamento automatizado .....	42
Figura 55 - Torno com ferramentas motorizadas.....	43

Figura 56 - Esquema de eixos de um torno do tipo suíço .....	44
Figura 57 - Máquina Multitarefa horizontal com duas buchas (esq.) e máquina multitarefa vertical (dir.)...	44
Figura 58 - Programação de uma peça cilíndrica em modo conversacional .....	45
Figura 59 - Programa de simulação CAM - Vericut.....	46
Figura 60 - Exemplos de diferentes tipos de paquímetros .....	49
Figura 61 - Alguns tipos de micrómetros .....	49
Figura 62 - Alguns exemplos de batímetros .....	50
Figura 63 - Suta convencional (esq) e digital (dir) .....	50
Figura 64 - Régua de senos .....	51
Figura 65 - Alguns tipos de comparadores .....	51
Figura 66 - Graminho Convencional (esq), de relógio (centro) e digital (dir).....	52
Figura 67 - Rugosímetro de bancada (esq.) e portátil (dir) .....	52
Figura 68 - Coluna vertical de medição.....	53
Figura 69 - Máquina de medição por coordenadas manual (esq) e automática (dir) .....	53
Figura 70 - Blocos Padrão Metálicos (esq) e cerâmicos (dir).....	54
Figura 71 - Calibre Passa/Não passa .....	54
Figura 72 - Desenho de definição da peça 0950CAC17 10 02 215 .....	55
Figura 73 - Identificação das superfícies elementares - Caso 1 .....	56
Figura 74 - Detalhe da cotação funcional - Caso de estudo 1 .....	57
Figura 75 - Simulação da Fase 10 - Caso de Estudo 1 .....	60
Figura 76 - Zona de proteção de maquinagem(esq) Penetração radial excessiva Optirough (dir)– Caso 1 ....	60
Figura 77 - Peça antes das operações de acabamento (esq) e após as operações de acabamento (dir) .....	61
Figura 78 - Pormenor do desgaste da ferramenta usada para os desbastes da Fase 10 .....	61
Figura 79 - Preparação da peça para a Fase 20 .....	61
Figura 80 - Preparação da fase 30 (esq) Massa de lubrificação para mandrilagem (dir) .....	62
Figura 81 - Pormenor do acabamento da operação nº6 .....	62
Figura 82 - Medidas a controlar - Caso de Estudo 1 .....	64
Figura 83 - Montagens utilizadas para a verificação de paralelismo (esq) e localização (dir) - Caso 1 .....	64
Figura 84 - Calibração do graminho (esq) Medição da localização de um furo (dir).....	65
Figura 85 - Peça final - Caso 1 .....	67
Figura 86 - Desenho de definição da peça 0950CAC17 02 02 117 .....	68
Figura 87 - Exemplo de peça com mau acabamento superficial devido à vibração durante o torneamento....	69
Figura 88 - Detalhe do postigo para o apoio do contraponto (esq) Esquema de aperto da peça no torno(dir)	70
Figura 89 - Identificação das superfícies elementares - Caso de Estudo 2 .....	70
Figura 90 - Comandos Manuais Haas TL1 .....	71
Figura 91 - Colocação ferramenta para os ciclos G70 e G71 .....	72
Figura 92 - Identificação de cotas a verificar - Caso 2 .....	75
Figura 93 - Verificação da concentricidade .....	75
Figura 94 - Pormenor facejamento da peça final.....	76
Figura 95 - Desenho de definição da peça 0950CAC17 10 02 214 .....	77
Figura 96 - Fixação do bruto à bucha do torno.....	78
Figura 97 - Identificação das superfícies elementares - Caso de Estudo 3 .....	79
Figura 98 - Percursos das ferramentas simulados no software CAM - Caso de Estudo 3 .....	81
Figura 99 - Modelo CAD da montagem com os mordentes brandos .....	82
Figura 100 - Identificação de cotas a verificar - Caso 3 .....	85
Figura 101 - Montagem para o controlo do paralelismo (esq) e posicionamento entre furos (dir).....	86
Figura 102 - Peça final - Caso 3 .....	87
Figura 103 - Equipamentos do setor da maquinaria a controlar com a aplicação .....	89
Figura 104 - Fluxo de produção na empresa .....	91
Figura 105 - Sistema de identificação das peças utilizado na empresa .....	92
Figura 106 - Descrição da Pagina Inicial da aplicação .....	93
Figura 107 - Painel de planeamento .....	94
Figura 108 - Painel da maquinaria .....	95
Figura 109 - Painel do Controlo de Qualidade .....	95
Figura 110 - Pesquisa de uma peça através do código de barras usando um scanner.....	96
Figura 111 - Painel de peças em produção .....	96
Figura 112 - Painel de planeamento diário da maquinaria .....	97
Figura 113 - Janela de introdução rápida de peças não existentes no sistema .....	98

## Índice tabelas

Tabela 1 - Principais formas de desgaste das ferramentas de corte – Adaptado de [3] .....	5
Tabela 2 - Símbolos de contacto com a superfície da peça [10].....	15
Tabela 3 - Símbolos da função do elemento tecnológico [10].....	15
Tabela 4 - Simbologia consoante a natureza da superfície de aperto [10].....	15
Tabela 5 - Símbolos de apertos consoante a tecnologia de fixação [10] .....	15
Tabela 6 - Exemplo de código para insertos de torneamento .....	20
Tabela 7 - Resumo de porta ferramentas (adaptado de [18]).....	24
Tabela 8 - Resumo das características dos materiais ferramenta [5] .....	29
Tabela 9 - Valores de tolerâncias económicas para vários processos de maquinagem [10] .....	31
Tabela 10 - Valores de sobre-espessura corrente [10] .....	31
Tabela 11 - Exemplo de uma sequência de maquinagem [11] .....	36
Tabela 12 - Exemplo de uma Ficha de Fase [11] .....	36
Tabela 13 - Algumas características geométricas sujeitas a medição [11] .....	48
Tabela 14 - Especificações do Aço DIN 1.2311 .....	56
Tabela 15 - Estratégias CAM usadas no Caso de Estudo 1 .....	59
Tabela 16 – Registo de tempos de execução - Caso de estudo 1 .....	63
Tabela 17 - Verificação dimensional - Caso 1.....	66
Tabela 18 - Especificações do Aço EN: X 153 CrMoV 12 (C265) [32] .....	68
Tabela 19 – Variáveis do ciclo de tornamento G71 .....	72
Tabela 20 - Descrição do processo de maquinação - Caso de estudo 2.....	73
Tabela 21 - Verificação dimensional - Caso 2.....	75
Tabela 22 - Especificações do Aço EN: 34 CrNiMo 6 (FR3) [33] .....	78
Tabela 23 - Estratégias CAM usadas no Caso de Estudo 3 .....	81
Tabela 24 - Descrição do processo de maquinação - Caso de estudo 3 .....	83
Tabela 25 - Verificação dimensional - Caso 3.....	86

# Abreviaturas

**CAD** – Computer Aided Design

**CAM** – Computer Aided Manufacturing

**CMM** – Coordinate Measuring Machine

**CNC** – Comando Numérico Computurizado

**CVD** - Chemical Vapour Deposition

**ERP** – *Enterprise Resource Planning*

**FISFS** – *First In System First Served*

**HSS** – High Speed Steel

**MQL** – Minimum quantity lubricant

**PCD** – Polycrystalline Diamond

**PVD** – Physical Vapour deposition

**SGBD** – Sistema de gestão de base de dados

# **1. Introdução**

## **1.1. Objetivos**

A realização deste estágio tem os seguintes objetivos:

- Compreensão e adaptação à realidade da indústria metalomecânica portuguesa.
- Levantamento do estado de arte das tecnologias CNC, ferramentas de corte e metrologia atualmente disponível tentando simultaneamente a adaptação de algumas destas tecnologias à realidade da empresa.
- Estudo das metodologias de trabalho utilizadas por uma empresa com produção de componentes através da maquinagem e torneamento CNC.
- Elaboração de uma gama de maquinagem e sua execução tendo como base os processos e recursos utilizados pela empresa e se possível a sua otimização

## **1.2. Motivação**

No mercado de trabalho, as empresas procuram cada vez mais profissionais que para além dos conhecimentos adquiridos durante o percurso académico, possuam também experiência em contexto industrial. Este estágio, para além de ser uma oportunidade de contactar com o mundo da indústria, permitiu o contacto com equipamentos e profissionais da área da maquinagem CNC, sendo assim uma oportunidade para aprofundar conhecimentos numa área em que a aprendizagem é realizada em contexto produtivo.

Para além dos motivos acima mencionados, sendo esta uma área com elevado potencial de crescimento, pretendeu-se implementar algumas ferramentas que incrementem a organização e gestão do trabalho no setor da maquinagem.

## **1.3. Estrutura do documento**

O presente documento é constituído por 6 capítulos, sendo o primeiro capítulo a introdução ao trabalho aqui descrito.

No segundo capítulo encontram-se alguns aspetos gerais da tecnologia por arranque de apara, necessários para uma melhor compreensão dos temas abordados no documento.

No terceiro capítulo é abordada a maquinagem CNC, e sistemas CAD/CAM.

No quarto capítulo são apresentados alguns meios de controlo disponíveis atualmente. São abordados meios de controlo manuais e automáticos, apara além de dispositivos de controlo dimensional

No quinto capítulo é apresentado o trabalho realizado na empresa, durante o estágio. São apresentadas três gamas de maquinagem e a aplicação informática desenvolvida para o controlo e gestão de produção.

No sexto e último capítulo são apresentadas as considerações finais do trabalho realizado, assim como algumas melhorias possíveis de realizar futuramente.





## 2. Aspetos gerais da tecnologia de maquinagem por arranque de apara

Nas últimas décadas as máquinas-ferramenta têm desempenhado um papel fundamental no desenvolvimento industrial e tecnológico. No entanto, muitas outras áreas sofreram grandes avanços de forma a sustentar os avanços tecnológicos impostos pela crescente necessidade do aumento da performance imposta pela indústria. Áreas ligadas às ferramentas de corte por arranque de apara, fixação e posicionamento de peças nas máquinas ferramenta são apenas algumas das áreas tecnológicas que envolvem a tecnologia de corte por arranque de apara e das máquinas-ferramenta.

### 2.1. Geometria das Ferramentas de Corte

Uma ferramenta de corte é constituída por duas zonas distintas: o corpo e a zona ativa. A geometria da zona ativa, posição relativa entre a ferramenta e a superfície a maquinar e as condições de corte, têm um grande impacto na qualidade e na economia da operação a realizar.

O corpo da ferramenta deve assegurar um correto posicionamento da ferramenta sobre a máquina-ferramenta em cada uma das sucessivas montagens. Na zona ativa da ferramenta de corte, Figura 1, destacam-se as seguintes designações: face de ataque, face de saída principal, face de saída secundária, aresta de corte principal, aresta de corte secundária e a ponta da ferramenta.

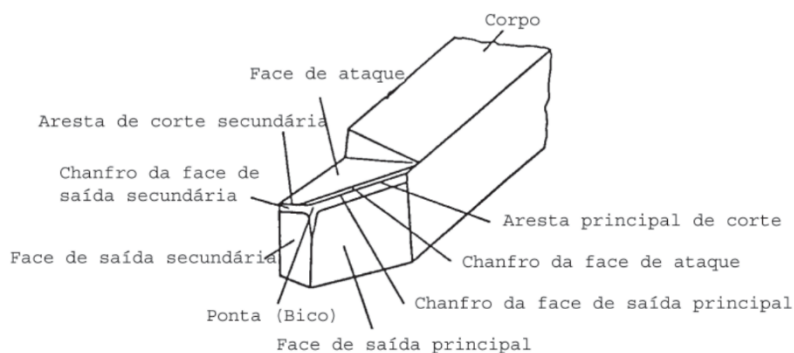


Figura 1 - Zona ativa da ferramenta [1]

De todos os elementos que constituem a zona ativa da ferramenta, o ângulo de ataque, ângulo de saída e ângulo de gume são os que mais influenciam o acabamento superficial da peça, vida útil da ferramenta, potência de corte e forma da apara. Na Figura 2 estão representados alguns dos ângulos mais relevantes para a caracterização de uma ferramenta de corte.

O **ângulo de ataque ( $\gamma$ )** é o ângulo que a face de ataque forma com o plano de referência, podendo ser positivo, neutro ou negativo.

O **ângulo de saída ( $\alpha$ )** é o ângulo entre a face de saída e a aresta de corte, sendo sempre positivo.

O **ângulo de gume ( $\beta$ )** é o ângulo que as faces de ataque e de saída formam entre si.

Entre estes três ângulos verifica-se sempre esta relação:

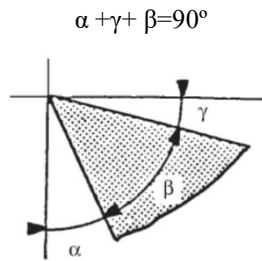


Figura 2 - Ângulos característicos da ferramenta de corte [1]

## 2.2. Desgaste de Ferramentas

São vários os fenômenos responsáveis pelo desgaste da ferramenta, sendo considerado um mecanismo de desgaste todo e qualquer fenômeno capaz de provocar o desgaste da ferramenta de corte, quer na face de saída, quer na face de ataque. A abrasão, a difusão, a oxidação e a adesão são mecanismos que promovem o desgaste das ferramentas de corte. [1]

A abrasão é uma das principais causas de desgaste da ferramenta. Ela ocorre por ação de partículas duras em deslizamento entre duas superfícies, ou seja, a existência de partículas duras no material a maquinar provoca abrasão na ferramenta durante a sua saída ao deslizarem na face de ataque e de saída. Também a aresta postiça é responsável por este tipo de desgaste, pois a sua periódica destruição produz fragmentos de material duro (material recozido) que desliza sobre as superfícies funcionais da ferramenta.[1]




A adesão, é um mecanismo que normalmente aparece na maquinagem de materiais dúcteis, onde a ferramenta após o desgaste do gume exerce forças de compressão na peça, aumentando a temperatura de corte e a adesão da apara à ferramenta. [1]

A difusão, é um fenômeno que ocorre entre materiais diferentes, resultante das diferentes concentrações químicas das estruturas dos materiais. Este é um processo de ativação térmica por excelência, sendo tanto mais relevante quanto maior a temperatura da ferramenta e da peça a maquinar. Neste processo existe a transferência de elementos químicos da ferramenta para a peça, levando à alteração da composição química da ferramenta e ao seu consequente enfraquecimento.[1], [2]

A oxidação, dá-se devido à reação da ferramenta com o meio envolvente (atmosfera ou fluido refrigerante), ativada com o aumento da temperatura da ferramenta de corte.

A Tabela 1 sumariza os tipos de desgaste das ferramentas de corte mais comuns.

*Tabela 1 - Principais formas de desgaste das ferramentas de corte – Adaptado de [3]*

<b>Desgaste de Flanco (Abrasivo)</b>		Tipo de desgaste mais comum que ocorre numa ferramenta. Permite prever a vida útil da ferramenta pois é estável. O desgaste de flanco ocorre devido à abrasão entre a peça e a ferramenta.
<b>Craterização (Químico)</b>		Localizado na face de saída da ferramenta. Ocorre devido à reação química entre o material da peça e a ferramenta de corte e é tanto maior quanto maior é a velocidade de corte. A craterização enfraquece a aresta de corte, podendo levar à sua quebra.
<b>Aresta Postiça (Adesivo)</b>		Mais comum na maquinagem de materiais macios, como aços de baixo teor em carbono, alumínio e ligas de cobre. Este desgaste é causado pela adesão de material da peça à aresta de corte da ferramenta. O uso de baixas velocidades de corte contribuem para o aumento deste fenómeno.
<b>Desgaste tipo Entalhe (Adesivo)</b>		Desgaste das faces de saída e fratura da aresta de corte. Normalmente provocado pela adesão e abrasão durante a maquinagem de ligas resistentes ao calor e com tendência ao endurecimento superficial (Aços inoxidáveis, ligas de níquel).
<b>Deformação Plástica (Térmico)</b>		A deformação plástica da ferramenta ocorre quando as temperaturas de corte são bastantes elevadas. De uma forma geral o uso de líquido refrigerante assim como de ferramentas revestidas ajudam a combater este fenómeno.
<b>Fissuramento Térmico (Térmico)</b>		Desgaste frequente em situações de corte onde existe uma elevada variação de temperatura em curto espaço de tempo. O corte interrompido ou um fluxo de refrigeração intermitentes pode levar ao aparecimento destas fissuras
<b>Quebra da Aresta (Mecânico)</b>		A quebra da aresta é resultado de uma sobrecarga de tensões, característica das situações corte instável e maquinagem de materiais com zonas pontuais de elevada dureza. É possível também a quebra da peça devido a vibrações durante o corte, assim como velocidade de avanço muito elevada ou desgaste excessivo da aresta de corte.

## 2.3. Maquinabilidade e Materiais

O conceito de maquinabilidade refere-se à facilidade ou dificuldade em maquinar um material, ou grupo de materiais. Esta propriedade apesar de bastante útil na fase de escolha de processos e de ferramentas durante a fase planeamento não pode ser relacionada apenas com o material a maquinar pois depende de vários outros parâmetros. Como se pode observar na Figura 3. Esta propriedade além de ter inúmeros parâmetros tem também vários métodos para ser caracterizada.

Apesar de não haver ainda um método standard para a definição da maquinabilidade dos materiais, o método mais comum é o proposto pela *American Iron and Steel Institute* (AISI) que avalia numericamente a maquinabilidade de material tendo em conta um material padrão. O valor de maquinabilidade 100% foi atribuído ao aço AISI B-1112. O índice de maquinabilidade é determinado pelo quociente entre a velocidade de corte utilizada no material a caracterizar para uma vida da ferramenta de 60 minutos e a velocidade de corte utilizada no material padrão para uma igual vida da ferramenta de 60 minutos.[4]

Os fabricantes de ferramentas, de forma a facilitar a escolha das ferramentas e as condições de corte a usar tendo como critério de escolha o material a maquinar, dividiram os materiais em seis grandes grupos: P – aços; M – aços inoxidáveis; K – ferro fundido; N – materiais não ferrosos; S – superligas; H – aços endurecidos.

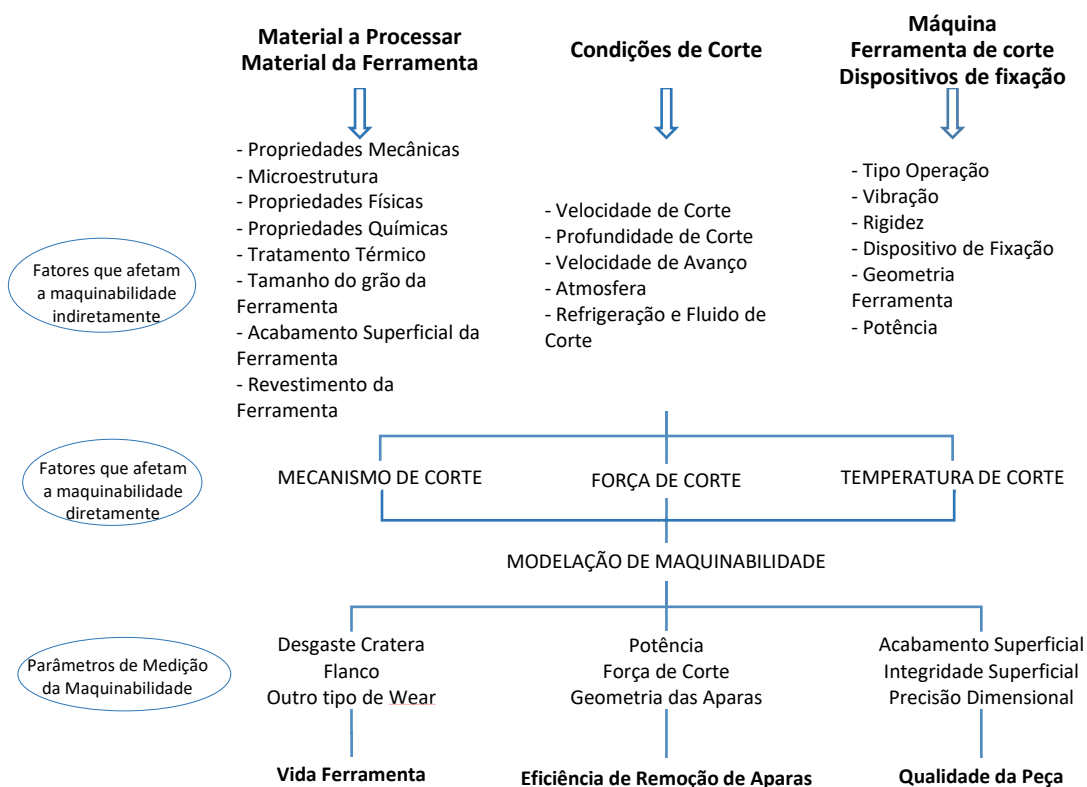


Figura 3 - Fatores que afetam a maquinabilidade [5]

Apesar desta divisão ser transversal a todos os fabricantes de ferramentas, os materiais pertencentes a cada um dos grupos, podem ser bastante heterogêneos, obrigando a uma subdivisão em grupos de materiais mais homogêneos. Esta subdivisão, como mostra a Figura 4, normalmente é feita tendo em conta a dureza e a tensão de rotura do material; no entanto, não é feita da mesma forma por todos os fabricantes.

Material Overview - DIN						
material group	description	content	tensile strength RM (MPa)	hardness (HB)	hardness (HRC)	material number
P0	Low-Carbon Steels, Long Chipping	C > 0.25%	< 530	< 125	—	—
P1	Low-Carbon Steels, Short Chipping, Free Machining	C > 0.25%	< 530	< 125	—	C15, Ck22, ST37-2, S235JR, 9SMnPb28, GS38
P2	Medium- and High-Carbon Steels	C > 0.25%	> 530	< 220	< 25	ST52, S355JR, C35, GS60, C53
P3	Alloy Steels and Tool Steels	C > 0.25%	600–850	< 330	< 35	16MnCr5, Ck45, 21CrMoV5-7, 38SMn28
P4	Alloy Steels and Tool Steels	C > 0.25%	850–1400	340–450	35–48	100Cr6, 30CrNiMo8, 42CrMo4, C70W2, S6525, X120Mn12
P5	Ferritic, Martensitic, and PH Stainless Steels	—	600–900	< 330	< 35	100Cr6, 30CrNiMo8, 42CrMo4, C70W2, S6525, X120Mn12
P6	High-Strength Ferritic, Martensitic, and PH Stainless Steels	—	900–1350	350–450	35–48	X102CrMo17, G-X120Cr29
M1	Austenitic Stainless Steel	—	< 600	130–200	—	X5CrNi 18 10, X2CrNiMo 17 13 2, G-X25CrNiSi18 9, X15CrNiSi 20 12
M2	High-Strength Austenitic Stainless and Cast Stainless Steels	—	600–800	150–230	< 25	X2CrNiMo 13 4, X5NiCr 32 21, X5CrNiNb 18 10, G-X15CrNi 25-20
M3	Duplex Stainless Steel	—	< 800	135–275	< 30	X8CrNiMo27 5, X2CrNiMoN22 5 3, X20CrNiSi25 4, G-X40CrNiSi27 4
K1	Grey Cast Iron	—	125–500	120–290	< 32	GG15, GG25, GG30, GG40, GTW40
K2	Low- and Medium-Strength Ductile Irons (Nodular Irons) and Compacted Graphite Irons (CGI)	—	< 600	130–260	< 28	GGG40, GTS35
K3	High-Strength Ductile Irons and Austempered Ductile Iron (ADI)	—	> 600	180–350	< 43	GGG60, GTW55, GTS65
N1	Wrought Aluminium	—	—	—	—	AlMg1, A99.5, AlCuMg1, AlCuMgPb, AlMgSi1, ALMgSiPb
N2	Low-Silicon Aluminium Alloys and Magnesium Alloys	Si < 12.2%	—	—	—	GAISiCu4, GDAISi10Mg
N3	High-Silicon Aluminium Alloys	Si > 12.2%	—	—	—	G-ALSi12, G-ALSi17Cu4, G-ALSi21CuNiMg
N4	Copper-, Brass-, Zinc-Based on Machinability Index Range of 70–100	—	—	—	—	CuZn40, Ms60, G-CuSn5Zn7Pb, CuZn37, CuSi3Mn
N5	Nylon, Plastics, Rubbers, Phenolics, Resins, Fibreglass	—	—	—	—	LEXAN®, HOSTALEN®, Polystyrol, Makralon®
N6	Carbon, Graphite Composites, CFRP	—	—	—	—	CFK, GFK
N7	Metal Matrix Composites (MMC)	—	—	—	—	—
S1	Iron-Based, Heat-Resistant Alloys	—	500–1200	160–260	25–48	X1NiCrMoCu32 28 7, X12NiCrSi36 16, X5NiCrAlTi31 20, X40CoCrNi20 20
S2	Cobalt-Based, Heat-Resistant Alloys	—	1000–1450	250–450	25–48	Haynes® 188, Stellite® 6, 21, 31
S3	Nickel-Based, Heat-Resistant Alloys	—	600–1700	160–450	< 48	INCONEL® 690, INCONEL 625, Hastelloy®, NIMONIC® 75
S4	Titanium and Titanium Alloys	—	900–1600	300–400	33–48	Ti1, TiAlSiSn2, TiAl6V4, TiAl4Mo4Sn2
H1	Hardened Materials	—	—	—	44–48	GX260NiCr42, GX330NiCr42, GX300CrNiSi92, GX300CrMo153, HARDOM® 400
H2	Hardened Materials	—	—	—	48–55	—
H3	Hardened Materials	—	—	—	56–60	—
H4	Hardened Materials	—	—	—	> 60	—

Figura 4 - Divisão de Materiais proposta pela Kennametal

### 2.3.1. Grupo P – Aços

O grupo dos aços é o maior e o mais comum na área de corte por arranque de apra. Este grupo engloba vários tipos de aço, podendo ser subdividido através do teor em carbono:

- Baixo teor de carbono (<0.25% C)
- Médio teor de carbono (0.25 - 0.55 % C)
- Alto teor de carbono (>0.55% C)

Este grupo também engloba os aços inoxidáveis ferríticos e martensíticos.

Neste grupo de materiais as ferramentas normalmente usadas são de carboneto com revestimento de uma ou mais camadas à base de titânio, de forma a reduzir a formação de crateras na face de ataque devido ao desgaste por difusão. Em operações de acabamento também é possível o uso de ferramentas cerâmicas de alumina, cermets CBN. [5]

### **2.3.2. Grupo M – Aços Inoxidáveis**

Os aços inoxidáveis possuem um teor de cromo superior a 12% e podem ser classificados em ferríticos, martensíticos, austeníticos e duplex, no entanto, apenas os aços inoxidáveis austeníticos e duplex pertence a este grupo.

Estes aços são de maneira geral considerados difíceis de maquinar devido às elevadas tensões de rotura, endurecimento superficial durante o trabalho, má condutibilidade térmica e elevada abrasividade. A maquinagem destes materiais é caracterizada por elevadas temperaturas e força de corte, elevado desgaste das ferramentas (desgaste na aresta de corte), dificuldades na quebra da apara e mau acabamento superficial [5]. Os aços austeníticos são os aços inoxidáveis mais utilizados e possuem um índice de maquinabilidade de 60%, enquanto que os inoxidáveis duplex têm uma maquinabilidade de 30%. [6].

As ferramentas recomendadas para a maquinagem deste tipo de aços são carbonetos revestidos com ligas de titânio multicamada. Outras recomendações na maquinagem destes materiais são: o uso de velocidades de corte mais baixas do que as dos aços ao carbono, uso de profundidades de corte superiores à camada superficialmente endurecida de forma a evitar desgaste excessivo da aresta de corte, uso de ferramentas com arestas de corte afiadas e com ângulo de ataque positivo, evitando assim a formação de apara aderente e reduzindo o efeito de endurecimento da camada superficial do material. É também recomendável o uso fluidos de corte apropriados e em quantidade suficiente para remover o calor gerado pelo processo de maquinagem [5].

### **2.3.3. Grupo K – Ferro Fundido**

Os ferros fundidos são ligas metálicas com elevado teor em carbono (>2%) e do ponto de vista da maquinabilidade podem ser subdivididos em três grupos: ferro fundido cinzento, ferro fundido vermicular (CGI) e ferro dúctil austemperados (ADI). A maquinabilidade deste material depende fortemente da sua composição e microestrutura.

As ferramentas usadas na maquinagem de ferro fundido devem ter uma elevada resistência e dureza, assim como resistência à fratura. Os problemas mais comuns durante o trabalho deste material é o desgaste e deformação da aresta de corte, desgaste da face de saída, formação de cratera e a formação de apara aderente. As ferramentas recomendadas são carbonetos revestidos a nitreto de titânio (TiN) em conjunto com líquido de refrigeração em abundância, devido à pobre condutibilidade térmica do ferro fundido. [7]

### **2.3.4. Grupo N – Materiais Não Ferrosos**

O grupo dos materiais não ferrosos é o grupo onde o índice de maquinabilidade é maior, no entanto é o grupo mais heterogêneo de todos. A este grupo pertencem as ligas de alumínio, ligas de magnésio, ligas de cobre, materiais poliméricos (plásticos) e materiais compósitos.

O alumínio, dependendo do seu teor em sílica apresenta aparas longas (quanto maior o teor em sílica menor o comprimento da apara) e é frequente criar arestas postizas na ferramenta. As ferramentas recomendadas para alumínio devem ter arestas de corte afiadas e com ângulo de ataque positivo. Apesar de o

material recomendado para o revestimento das ferramentas ser PCD (diamante policristalino) é frequente o uso de ferramentas de carbonetos polidas sem revestimento devido ao seu menor custo.

O magnésio, assim como o alumínio apresenta uma elevada maquinabilidade. No entanto a sua maquinagem deve ter em conta o risco de explosão quando as temperaturas de corte atingem a sua temperatura de fusão (aproximadamente 650°C). A vida útil das ferramentas é cerca de cinco vezes superior quando comparada com maquinagem do alumínio. Apesar de ser possível a maquinagem de magnésio com ferramentas de metal duro revestidas com titânio, o uso de ferramentas com revestimentos de PCD é preferível devido à sua boa resistência à abrasão e à redução da temperatura da apara, diminuindo assim o risco de explosão. A refrigeração do corte deve ser realizada preferencialmente com o uso de gases inertes (Árgon) ou com o uso de óleos minerais. O uso de emulsões de óleo em água é desaconselhado.

Os polímeros são materiais mais macios do que os metais e caracterizados pela sua boa maquinabilidade, apesar de formarem aparas longas e contínuas. As ferramentas recomendadas para a sua maquinagem devem ter arestas de corte bem afiadas e podem ser de aço rápido, apesar de em séries longas ser aconselhado o uso de carbonetos. É ainda importante, durante a maquinagem de plásticos, garantir uma boa evacuação da apara.

Os materiais compósitos podem ser subdivididos entre aqueles que usam matriz polimérica e os que usam matriz metálica.

Entre os compósitos com matriz polimérica destacam-se os reforçados com fibra de vidro, fibra de carbono e aramida. Na maquinagem de compósitos devem usar-se ferramentas extremamente afiadas de forma a evitar a delaminação das peças. As ferramentas devem ser em carbonetos com grãos finos ou revestidos a PCD.

Compósitos de matriz metálica são metais (alumínio, magnésio, titânio e aço) reforçados com partículas de materiais duros (boro, carboneto de sílica, óxido de alumínio, tungsténio, entre outros). Estes materiais têm como característica a alta abrasividade e adesão, devendo ser usadas ferramentas revestidas a diamante. [5]

### **2.3.5. Grupo S – Superligas**

Os materiais que pertencem a este grupo são denominados de superligas resistentes à temperatura. Estes materiais caracterizam-se pela capacidade de manter as suas características mecânicas e químicas a elevadas temperaturas (1000 °C), pelas elevadas tensões de cedência e dureza.

As ferramentas a usar neste tipo de material devem ser afiadas e ter ângulos de ataque positivos. São recomendadas ferramentas de carbonetos não revestidas, sendo também possível o uso de ferramentas de PCD e CBN em operações de acabamento. Deve ser usado fluido de corte, pois estas ligas são normalmente más condutoras térmicas, capazes de manter as suas características mecânicas e dureza a altas temperaturas. [5]

### **2.3.6. Grupo H – Ligas Endurecidas**

Do ponto de vista da maquinagem, o grupo de aços endurecidos é o menor grupo. Este grupo é constituído por aços endurecidos e temperados cujas durezas se situam na faixa de 45 a 68 HRC.

Para a maquinagem destes materiais as ferramentas devem possuir uma boa resistência à deformação plástica (dureza a quente), estabilidade química a altas temperaturas, resistência mecânica e ao desgaste abrasivo. O material ferramenta que consegue conciliar todas as características referidas anteriormente é o CBN, apesar de também ser possível o uso de ferramentas cerâmicas reforçadas em situações onde o acabamento superficial não é relevante. (Sandvik, 2016)

## 2.4. Sistemas de posicionamento e fixação e simbologia associada

Parte importante do processo de planeamento da produção é a escolha dos dispositivos de fixação apropriados. Esta escolha deve ter em conta a geometria da peça, as operações a realizar e a rigidez do aperto necessário. Seguidamente serão apresentados alguns dos dispositivos de fixação mais comuns em operações de fresagem e torneamento.

### 2.4.1. Dispositivos de fixação em fresadoras

**Aperto direto na mesa** – Segundo [8] é um dos métodos de fixação mais antigo, bastante usado em peças complexas de elevadas dimensões e de fabrico único. Neste método, como se pode ver na Figura 5, usam-se vários acessórios de aperto (pernos, calços, grampos, porcas em T, entre outros) de forma a garantir a correta fixação da peça à mesa.



Figura 5 - Fixação direta à mesa

**Placas de fixação (Tooling Plates)** – Estas placas são fixas à mesa da máquina que como se pode ver na Figura 6 (esq) possui uma grelha de furos (de cavilha ou roscados) de elevada precisão onde se podem colocar pinos de forma a permitir uma elevada repetibilidade no posicionamento das peças assim como o uso

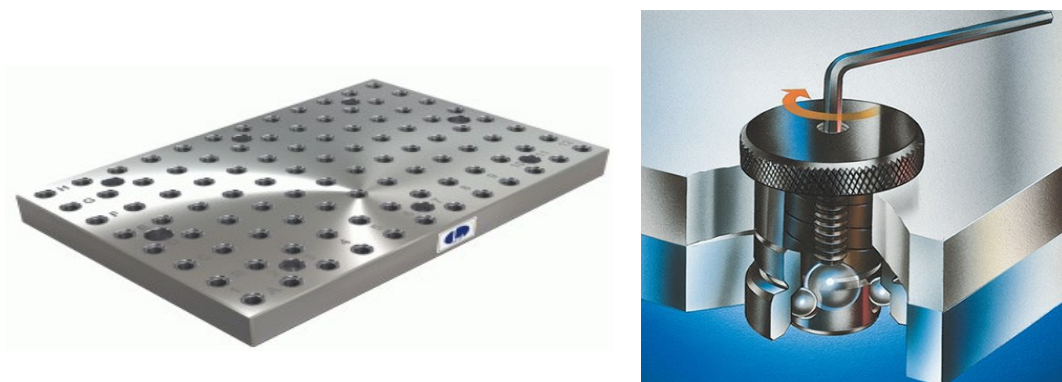


Figura 6 - Placa de Fixação [7] e sistema de aperto rápido (Ball Lock)[34]



de acessórios de fixação rápida (Apertos de esfera - *Ball Lock*) que se encaixam na furação da placa e seguram a peça na posição pretendida. No caso do sistema ilustrado na Figura 6 (dir) o sistema é manual, mas existem também sistemas pneumáticos e hidráulicos que possibilitam diminuir ainda mais os tempos de posicionamento e preparação de peças. Estes sistemas são extremamente versáteis devido à elevada quantidade de acessórios disponíveis e à elevada rapidez com que é possível fazer a mudança de peças sem que a precisão do posicionamento seja prejudicada.

**Blocos em V** – São usados primariamente, como se pode ver na Figura 7, para o posicionamento de peças cilíndricas durante operações de fresagem. É também frequente o seu uso na maquinagem de peças não



Figura 7 - Blocos de fixação em V [35]

cilíndricas que apresentem operações em faces não ortogonais. A precisão do trabalho realizado recorrendo ao uso destes dispositivos depende fortemente do seu correto posicionamento na mesa de trabalho. De forma a garantir o correto posicionamento deve usar-se um comparador para verificar o seu paralelismo relativamente ao deslocamento dos eixos. É também importante, caso se use mais do que um bloco de posicionamento, garantir que a altura do rasgo em V á base da mesa de trabalho seja igual em todos os blocos.

**Prensas de fixação** – Sistema de fixação mais amplamente utilizado e de elevada versatilidade. Usado maioritariamente em séries pequenas ou únicas e em que as peças são de pequenas dimensões. Como é possível ver na Figura 8, existem diversos acessórios que podem ser integrados nas prensas de forma a permitir uma elevada flexibilidade de trabalho. Os que mais se destacam são os calços calibrados em altura (*Parallels*) e os mordentes brandos (*Softjaws*). Os calços são usados em situações onde é necessário elevar a peça na prensa e garantir o paralelismo entre eles. Os calços maquináveis são calços feitos de um material fácil de maquinar, e

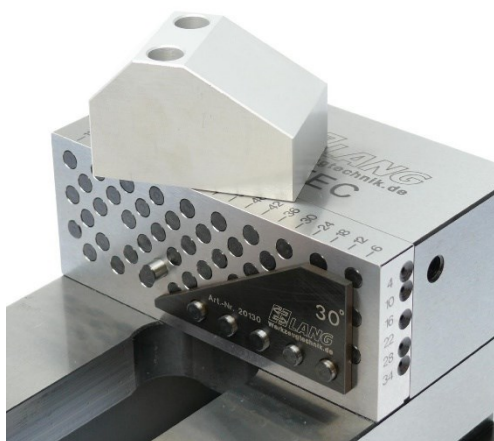


Figura 8 – Prensa de Fixação Modular



Figura 9 - Mordentes Brandos

onde é maquinado o negativo da peça a fixar. Como se pode ver na Figura 9 esta solução é bastante útil em peças de geometrias complexas em que não existe a viabilidade da construção de um gabarito.

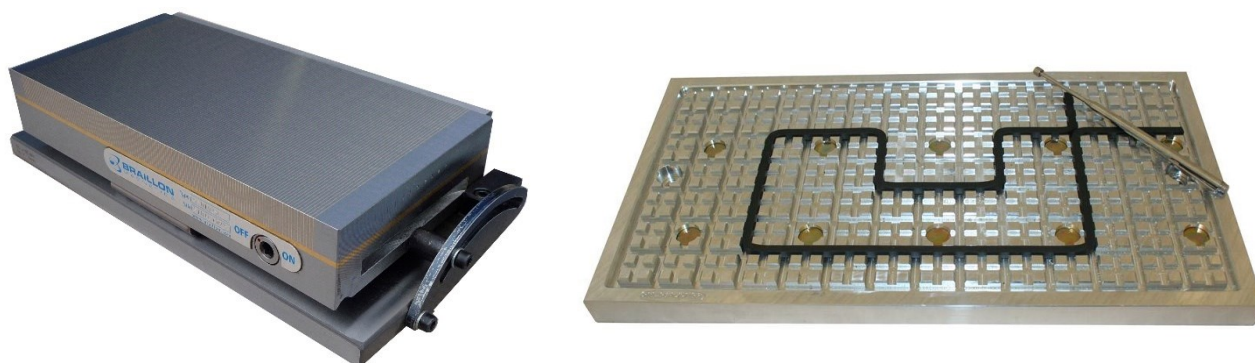
**Paletes** – Sistema em que a fixação e a preparação da peça a ser maquinada é realizada fora da zona de trabalho sem que haja interrupção do trabalho da máquina, parando apenas durante alguns instantes para fazer a troca de paletes. [8] A troca de paletes pode ser feita manualmente, mas o normal é ser feito automaticamente, recorrendo a braços robóticos, mesas rotativas, mesas deslizantes ou sistemas de carrossel. Normalmente esta técnica de fixação apenas é usada em séries de elevado número de peças onde é possível que o custo do fabrico das paletes seja amortizado.

**Gabaritos** – São ferramentas de fixação e posicionamento que são fabricados em função da peça a fabricar. Estes sistemas, dependendo do tamanho da peça e da máquina, podem comportar mais do que uma peça - Figura 10. Estes sistemas têm como principal característica o reduzido tempo de preparação da peça, assim como a elevada precisão do posicionamento da mesma. É frequente a montagem destes sistemas sobre mesas amovíveis ou giratórias de forma a aumentar a produtividade da máquina. O seu uso apenas é aconselhável em peças em série e cada gabarito apenas comporta uma fase de trabalho.



*Figura 10 - Gabaritos de múltiplas posições [37]*

**Mesa de Vácuo/Magnéticas** – Ambas as soluções permitem a fixação das peças diretamente à mesa sem necessidade do uso de mais componentes, sendo que na mesa de vácuo é preciso delimitar a zona de sucção com um vedante (Figura 11) A principal diferença entre estes sistemas reside na força que são capazes de exercer e nos materiais que são capazes de fixar. O sistema de vácuo permite a fixação de qualquer tipo de



*Figura 11 - Mesa Magnético [38] (esq); Mesa de vácuo (dir)[39]*

material desde que a peça tenha uma área em contacto com a mesa que permita atingir uma força de sucção superior à de corte. Uma desvantagem deste sistema é a impossibilidade de realizar furos na zona onde se está a exercer a sucção. O sistema magnético por outro lado não apresenta nenhuma das desvantagens do sistema de vácuo, mas tem como limitação o material que se pode fixar: apenas materiais ferromagnéticos.

#### 2.4.2. Dispositivos de fixação em torneamento

**Bucha de 3 mordentes** – É o sistema de fixação mais amplamente usado no torno, devido ao aperto ser autocentrante, permitindo pequenos tempos de preparação e elevada versatilidade. No entanto, este sistema não permite ajustes durante o seu aperto, o que o torna pouco conveniente para peças em que haja necessidade de mais do que um aperto da peça. Uma vez que apenas existem três pontos de contato entre a peça e dispositivo de fixação, este sistema não deve ser usado em peças com paredes finas ou em faces já acabadas, pois a pressão de aperto não é convenientemente repartida por toda a superfície de aperto, levando a empenos e distorções na peça. Uma solução que pode diminuir este problema é o uso, à semelhança das prensas de fixação, de *softjaws* que podem ser maquinadas com o diâmetro exato da superfície de apoio, levando a uma melhor distribuição da pressão de aperto.

**Bucha de 4 mordentes** – Sistema de aperto que faz uso de quatro pontos de apoio. Contrariamente ao sistema de 3 mordentes, este sistema não é autocentrante, o que torna o processo de montagem da peça mais trabalhoso. No entanto este sistema permite que haja uma maior distribuição da força de aperto e que se possa montar peças descentradas, sendo assim possível a maquinação de peças excêntricas. Uma vez que é possível o ajuste durante o aperto das peças, este sistema é preferível ao sistema de 3 mordentes quando é necessário o reaperto das peças, devido à sua maior precisão.

**Bucha de 6 mordentes** – Combinam a facilidade, rapidez e o autocentragem da peça durante o aperto do sistema de 3 mordentes com a baixa pressão de aperto na peça e menor tendência a deformar peças de paredes finas do sistema de 4 mordentes. Normalmente estas buchas são usadas em tubos e em peças onde a fixação será feita em superfícies já acabadas. A principal desvantagem face aos outros sistemas apresentados é o seu maior custo.

**Pinças de aperto** – *Collets* – De todos os sistemas, é o sistema que garante uma maior precisão, facilidade e rapidez na fixação da peça a trabalhar. Existem vários tipos de pinças de apertos, capazes de fixar vários perfis de peças (circular, hexagonal, quadrado, entre outros). Como se pode ver na Figura 12 este sistema possui menos partes móveis o que possibilita o uso de velocidades de rotação maiores, assim como reduz as vibrações durante a maquinação devido ao aperto uniforme e constante em toda a peça que se encontra dentro



Figura 12 - Pinça de aperto [40]

da pinça. No entanto, este sistema possui as desvantagens de necessitar uma bucha de aperto específica e apenas ser possível trabalhar peças com pequenos diâmetros (normalmente abaixo de 76mm). [9]

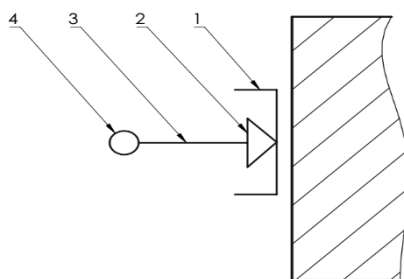
**Dispositivos de apoio auxiliar em peças longas** – Nestes dispositivos inserem-se os sistemas usados em peças com um grande comprimento e onde é necessário apoio extra de forma a evitar a deformação da peça o aparecimento de vibrações durante a maquinagem. Entre outros, os dispositivos mais comuns são o contraponto e a luneta. O contraponto segura a peça na extremidade oposta à bucha e necessita que previamente seja feito um furo no centro da peça. A luneta exerce apoio em posições intermédias entre a bucha e o contraponto. Normalmente é usada em situações onde o contraponto por si só não é suficiente, ou em situações em que não é possível o uso do contraponto (por exemplo: maquinagem da face onde o contraponto iria apoiar). O uso da luneta impossibilita a maquinagem de todo o comprimento da peça numa só operação e necessita que seja maquinada previamente uma faixa onde os rolos irão estar em contacto com a peça.

### 2.4.3. Simbologia de dispositivos de fixação

De forma a facilitar a representação dos sistemas de fixação nas fichas técnicas e de fase das peças a produzir, existem símbolos definidos pela norma NF E 04-013. Esta simbologia destina-se à representação dos sistemas de posicionamento e fixação das peças durante as etapas de maquinagem.

Na Figura 13 está ilustrada a composição do símbolo. Este símbolo é composto por quatro partes:

1. Tipo de contacto/apoio com a superfície da peça
2. Função do elemento tecnológico
3. Natureza da superfície da peça
4. Tipo de tecnologia



*Figura 13 - Símbolo representativo de um aperto*

Nas seguintes tabelas serão apresentados os símbolos mais comuns de cada uma das partes do símbolo anteriormente apresentado.

Tabela 2 - Símbolos de contacto com a superfície da peça [10]


				
Contacto Pontual	Contacto plano	Contacto estriado	Ponto Fixo	Ponto Rotativo
Contacto intermitente	Côncavo	Em V	Apoio balanceado	Orientado

Tabela 3 - Símbolos da função do elemento tecnológico [10]

Apoio	Pré-Localizador	Centragem total	Centragem Parcial

Tabela 4 - Simbologia consoante a natureza da superfície de aperto [10]

Contacto com superfície maquinada	
Contacto com superfície em bruto	

Tabela 5 - Símbolos de apertos consoante a tecnologia de fixação [10]

Apoio Fixo	Centragem Fixa	Aperto	Aperto concêntrico	Anti-vibrador	Apoio Elástico

## 2.5. Seleção de Ferramentas

O processo de seleção de ferramenta para a execução de um trabalho deve ter em conta o tipo de máquina (torno, fresadora, entre outras) e as suas características técnicas (rotação, potência, binário, entre outras), operação a realizar, material da peça a maquinar, material e qualidade da própria ferramenta.

### 2.5.1. Brocas

As brocas, ferramentas mais comuns em trabalhos de metalomecânica, são ferramentas que permitem a abertura de furos de forma económica. Existem vários tipos de brocas que permitem realizar operações de furação, ponteamto e de abertura de caixas. Nesta categoria também se podem incluir os chanfradores que permitem o escariamento de furos e a abertura de caixas cónicas. Possuem duas arestas de corte e normalmente são feitas em aço rápido ou em metal duro, com ou sem revestimento, em situações onde o material tem características mecânicas mais exigentes ou é necessária uma elevada cadência de furação.



**Broca helicoidal** (Figura 14) – é o tipo de broca mais comum e de elevada polivalência. São utilizadas em operações de furação com média precisão e com comprimentos inferiores a 5 vezes o seu diâmetro[11]. Existe uma elevada variedade de geometrias de hélice, ângulos de ponta (normalmente 118°, sendo que para materiais duros deve-se usar um ângulo maior e para materiais macios um ângulo menor[12]) e materiais, que estão diretamente relacionadas com o material a ser trabalhado.



Figura 14 - Brocas Helicoidais

**Broca de ponto** (Figura 15) – broca usada para marcar e centrar os furos com precisão. É uma broca de pequena dimensão e de elevada robustez, utilizada para abrir um furo inicial que servirá de guia para o furo de broca helicoidal. Outra aplicação muito comum deste tipo de broca é no torneamento quando se usa o contraponto e é necessário fazer um furo para se poder centrar e apoiar a peça.



Figura 15 - Broca de ponto

**Broca de inserto** (Figura 16) – normalmente apenas existem para furos de dimensão média e elevada (superior a Ø12) e podem dividir-se em duas categorias, brocas de insertos e brocas de ponta intercambiável. Enquanto as primeiras possuem dois ou mais insertos de metal duro semelhante aos usados em fresagem e que possuem normalmente mais do que uma aresta de corte por inserto, o segundo tipo tem a ponta integralmente feita de carboneto. A vantagem do uso de pontas intercambiáveis é o menor tempo de troca de inserto. No entanto, ultimamente têm surgido insertos com a tecnologia *wiper* que permitem furos com boa tolerância e com bom acabamento superficial [13].



Figura 16 - Broca de insertos (esq) e broca de ponta intercambiável (dir)

**Broca de canais retos e broca canhão** (Figura 17) – são brocas autoguiadas, dispensando assim brocas de ponto, e são normalmente usadas em furação profunda de materiais com durezas até 50HRC. Devido à inexistência de hélices para facilitar a remoção de aparas, estas brocas necessitam de fluido de alta pressão alimentado através do seu interior para transportar a aparas para o exterior do furo.

**Broca Escalonada** (Figura 18) – estas brocas permitem que duas ou mais operações possam ser realizadas de uma só vez. É possível numa só operação realizar o furo e fazer o chanfro, caixa ou alargamento na zona mais superficial do furo. O uso deste tipo de brocas normalmente só é conveniente em séries de média a elevada dimensão, pois são ferramentas bastantes específicas.



Figura 17 - Brocas canhão

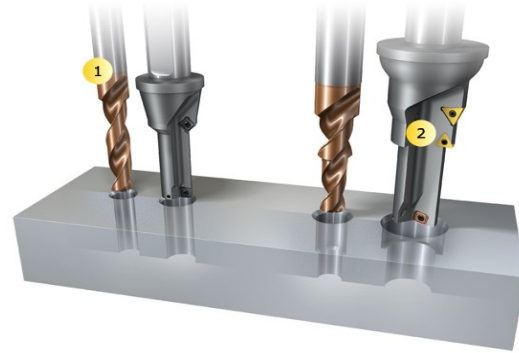


Figura 18 - Brocas escalonadas

## 2.5.2. Fresas

As fresas são as ferramentas mais comuns e mais utilizadas nos centros de maquinagem e normalmente são divididas em duas categorias, fresas inteiriças de navalhas e fresas de pastilhas removíveis. Enquanto as primeiras estão disponíveis em diâmetros pequenos (usualmente até 20mm) as segundas estão disponíveis para diâmetros maiores, sendo normalmente muito usadas em operações de facejamento.

### 2.5.2.1. Fresas de pastilhas/topos removíveis

**Fresas de facejar** (Figura 19) – fresas de grandes diâmetros (acima 40mm podendo ir até 500mm) usadas normalmente em operações de facejamento. Os ângulos de ataque dos insertos normalmente usadas são de 45°, 90° ou insertos redondos. Os insertos com ângulo de 45° são de uso geral, os insertos com ângulo de 90° são usados em peças com paredes finas e onde a fixação é fraca. Os insertos redondos, devido a possuírem uma aresta de corte mais robusta, são normalmente usados em desbastes pesados ou em desbastes de ligas refratárias (Grupo ISO S) e produzem uma ação de corte mais suave.[14]



Figura 19 - Fresa de insertos de facejar

**Fresas de Topo** (Figura 20) – neste grupo incluem-se as fresas de insertos e as fresas de topo removível. Ambas as fresas possuem um corpo onde são acoplados insertos. Dentro do grupo de fresas de insertos estas são as mais diversificadas e versáteis, estando disponíveis em diâmetros que normalmente não ultrapassam os 50mm. [8]



Figura 20 - Fresas de Topo (esq) fresa de topo removível (dir)

**Fresas de disco** (Figura 21) – são fresas de corte tangencial e normalmente usadas na abertura de canais e ranhuras. Neste tipo de fresas também se incluem as fresas conhecidas por “fresas de canal T” que tal como o nome sugere criam um rasgo com a forma de um T. Enquanto que nas fresas de rasgo em T os diâmetros usuais variam entre 20mm e 50mm nas fresas de disco os diâmetros começam nos 50mm, podendo atingir 300mm e as espessuras variam entre 2mm e 12mm

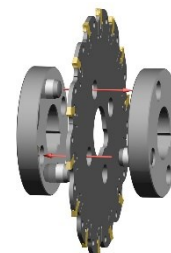


Figura 21 - Fresa de disco

### 2.5.2.2. Fresas inteiriças de navalhas

**Fresas de topo** (Figura 22) – são fresas normalmente de 4 navalhas, podendo, no entanto, ter apenas duas ou em casos de fresas específicas para acabamento ter 6 ou mais navalhas, capazes de maquinar tanto lateralmente como de topo. Atualmente começam a ter um papel bastante importante na maquinagem a alta velocidade pois com o desenvolvimento da tecnologia de pós, revestimentos de ferramentas e de estratégias de maquinagem estas fresas começam a ser preferidas às fresas de insertos de maiores diâmetros. São ferramentas bastante versáteis e podem ser usadas em operações quer de desbaste, quer de acabamento.

**Fresas de canto arredondado** – são fresas semelhantes às fresas de topo e lateral, mas possuem um raio na ponta que as torna bastante úteis em operações intermédias de desbaste de peças com superfícies complexas, podendo realizar todas as operações das fresas de topo reto.

**Fresas esféricas** – fresas normalmente usadas na abertura de canais cilíndricos e em peças com superfícies complexas de 3 ou mais eixos. São, no entanto, bastante usadas em operações de acabamento de superfícies complexas pois devido ao seu raio não deixam o espectro escalonado característico de um desbaste a profundidade constante com fresas de topo reto.

**Fresas de Ripa** – são fresas que apresentam um serrilhado ao longo das arestas de corte. Este serrilhado faz com que a apara criada por este tipo de fresa tenha uma menor dimensão e faz com que seja necessária uma menor força de corte. Este tipo de fresas pode ser também usado em situações onde a vibração da ferramenta é um problema, pois devido ao serrilhado, a progressão da vibração entre ferramenta e peça é atenuado. Estas fresas são apenas indicadas para operações de desbaste, pois devido ao serrilhado, deixam marcas longitudinais ao longo da superfície maquinada.

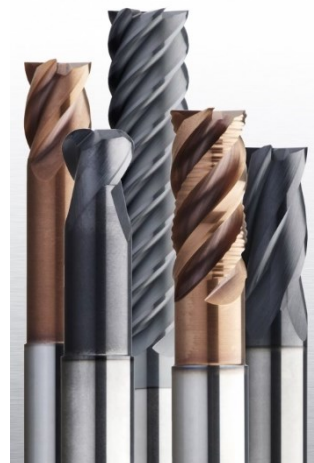


Figura 22 - Fresas de navalhas

**Fresas de forma** – são fresas com geometrias bastante diversificadas e por vezes bastante específicas. Normalmente usadas em situações de produção em série, onde se tentam realizar varias tarefas em simultâneo (por exemplo: acabamento de uma parede vertical e realização de um boleado). Outra aplicação deste tipo de fresas é a abertura de rasgos para vedantes e o'rings em que se usam fresas semelhantes à da Figura 23.



Figura 23 - Fresa de forma para o'rings

### 2.5.3. Mandris

Os mandris são ferramentas constituídas por navalhas de corte usadas para o acabamento de furos com boa precisão dimensional e geométrica e com bom acabamento superficial. Existem dois tipos de mandris: os mandris integrais, normalmente de HSS ou de metal duro, e as cabeças de mandrilar que permite o mandrilamento de vários diâmetros dentro de uma determinada gama de valores.

Os mandris integrais estão disponíveis em diâmetros pequenos (até 20mm) e são os mais acessíveis e os mais económicos de todos, permitindo uma precisão de furos até H7 [15], no entanto não corrigem a da



posição nem do alinhamento do furo de guiamento. Normalmente estes mandris apresentam várias navalhas de corte, que podem ser retas ou helicoidais.

As cabeças de mandrilar são usadas em furos de diâmetros acima de 16mm e com tolerâncias até IT6, permitem também o ajuste do diâmetro do furo através um regulador não sendo assim necessário uma ferramenta diferente para cada diâmetro de furo. Ao contrario dos mandris integrais, estes permitem a correção de alinhamento do furo e a sua localização.



Figura 24 - Cabeça de mandrilar

#### 2.5.4. Machos

A roscagem com macho é uma das formas mais produtivas e eficientes de realizar roscas interiores. O uso de machos é possível tanto em peças rotativas como em não rotativas, abrangendo os perfis de roscas mais comuns.[16]

Os machos podem ser diferenciados tendo em conta se a rosca será feita num furo passante ou num furo cego. Caso seja um furo passante deve-se utilizar um macho direito, caso seja um furo cego, deverá ser utilizado um macho helicoidal que permite uma melhor libertação da apara.



Figura 25 - Cabeças de roscar e vários tipos de machos

É importante também referir que atualmente as máquinas CNC são capazes de realizar a roscagem rígida, sincronizando a velocidade de avanço e rotação com o passo da rosca. No entanto, máquinas mais antigas ou que não dispõem deste sistema, necessitam de uma cabeça de roscar onde se monta o macho (Figura 25). Durante a operação de roscagem, esta pressiona o macho contra a entrada do furo até que este comece a ser puxado pelos seus filetes. A velocidade de avanço e rotação são apenas aproximadas ao passo da rosca, pois a cabeça permite a compensação de qualquer desvio.[8]

#### 2.5.5. Torneamento

As ferramentas mais frequentemente utilizadas em operações de torneamento são constituídas por suportes de aço, onde se fixam pastilhas de corte de carbonetos sinterizados por meio de parafusos ou grampos - Figura 26.

As ferramentas de torneamento podem ser subdivididas em quatro grupos: facejamento, torneamento exterior, torneamento interior, abertura de canais e sangramento e recartilhagem.



Figura 26 - Ferramenta de torneamento exterior

##### 2.5.5.1. Insertos de torneamento

Os insertos usadas em torneamento possuem todos um código que identifica a forma, dimensões e outras características importantes. A Tabela 6 apresenta um exemplo de um inserto e respetivo código.

Tabela 6 - Exemplo de código para insertos de torneamento

C	N	M	G	-	4	3	2
1	2	3	4		5	6	7
Forma	Ângulo de folga	Tolerância para s e iC	Quebra aparas		Comprimento da aresta de corte – iC	Espessura - s	Raio de ponta

### Forma dos insertos

Os insertos de torneamento são fabricados com várias formas, tamanhos e espessuras. A forma de inserto pode ser redonda de forma a maximizar a integridade da aresta de corte, em forma de losango para permitir o torneamento de formas com detalhes complexos, quadrado, ou mesmo octogonal de forma a maximizar o número de arestas de corte disponíveis.

Na Figura 27 estão representadas as várias formas que os insertos podem ter. Enquanto que os tipos C e W são bastantes utilizados em desbaste devido ao seu elevado ângulo de gume, insertos do tipo D e V são mais utilizados em operações de acabamento. Apesar de serem mais frágeis, o ângulo de gume mais pequeno permite alcançar os detalhes mais complicados além de solucionarem problemas de vibração que possam ocorrer com insertos com ângulo gume maior .



Figura 27 - Formas de insertos

### Ângulo de saída

Apesar de alguns insertos normalmente usados em desbaste possuírem ângulos de saída de 0°, há insertos que possuem outros ângulos de saída de forma a prevenir o contacto entre si e a peça. A Figura 28 apresenta alguns dos ângulos de saída disponíveis.

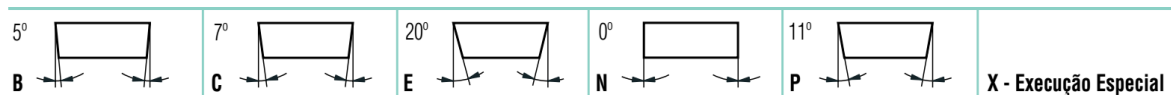


Figura 28 - Ângulos de saída

### Tolerância de s e iC

A Figura 29 apresenta algumas das tolerâncias mais comuns de espessura (s) e do círculo inscrito nos insertos de torneamento.

Tipo	s	d		Círculo inscrito - d (mm)	Tipo de tolerância	
G		± 0,025			M	U
M	± 0,13	± 0,05 - ± 0,15 <sup>1)</sup>			± 0,05	± 0,08
U		± 0,08 - ± 0,25 <sup>1)</sup>			± 0,08	± 0,13
					± 0,10	± 0,18
					± 0,13	± 0,25
					± 0,15	± 0,25

<sup>1)</sup> Varia dependendo do tamanho do IC. Ver quadro ao lado.

Figura 29 - Tolerância de espessura e comprimento da aresta [41]

### Quebra Aparas

O quebra aparas é uma característica que alguns insertos possuem que permite controlar a forma e o tamanho da aparas. A Figura 30 apresenta algumas das formas mais comuns de quebra aparas.



Figura 30 - Quebra aparas

### Comprimento da aresta de corte

É um valor que fornece o comprimento da aresta de corte. A profundidade de corte em operações de desbaste nunca deve ultrapassar metade do círculo inscrito no inserto.[17]

### Espessura

A Figura 31 apresenta a relação entre a posição 6 do código do inserto e a sua espessura.

### Raio de ponta

O raio de ponta é normalmente usado para controlar o aparecimento de vibrações. Enquanto um raio elevado permite avanços elevados e penetração elevada, assim como uma aresta de corte mais resistente, um raio de ponta reduzido permite reduzir as vibrações durante o torneamento. A Figura 32 apresenta a correlação entre a posição 7 do código do inserto e raio de ponta.

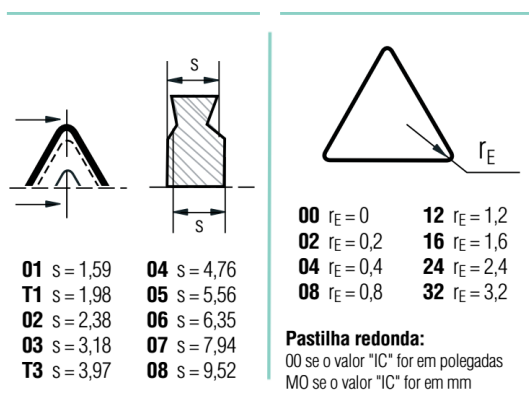


Figura 31 - Espessura (esq) e raio de ponta (dir) do inserto

d (mm)	d (in.)	C	D	R	S	T	V	W	K
3,97	5/32"					06			
5,0				05					
5,56	7/32"					09			
6,0			06						
6,35	1/4"	06	07			11	11		
8,0				08					
9,0				09					
9,525	3/8"	09	11	09	09	16	16		
10,0				10					
12,0				12					
12,7	1/2"	12	15	12	12	22	22	08	
15,875	5/8"	16		15	15	27			
16,0				16					16
19,05	3/4"	19		19	19	33			
20,0				20					
25,0				25					
25,4	1"	25		25	25				
31,75				31					
32				32					

Figura 32 - Tamanho aresta de corte

## 2.5.5.2. Torneamento Interior

O torneamento interior é, à semelhança do torneamento exterior, feito com ferramentas de insertos. A diferença neste tipo de torneamento é o suporte dos insertos que têm a forma de uma barra cilíndrica - Figura 33. A ferramenta deve ter o maior diâmetro possível e o menor comprimento possível suspenso, de forma a proporcionar uma maior estabilidade e reduzir a deflexão na ponta da ferramenta. [8]



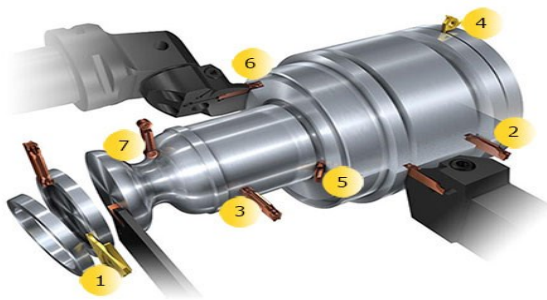
Figura 33 - Barra de torneamento interior

Estas ferramentas destinam-se normalmente ao torneamento de furos e de geometrias no interior da peça com precisão e bom acabamento. É comum, antes do uso desta ferramenta, realizar um furo com uma broca com um diâmetro superior ao da barra, para esta depois poder entrar através desse furo.

#### 2.5.5.3. Sangrador

São ferramentas com uma largura muito reduzida que permitem sangrar a peça (separar a peça do restante bruto), criação de ranhuras e canais interior ou exteriores (para a montagem de freios, batentes, etc) e eliminar raios de canto. Normalmente estas ferramentas são usadas apenas com movimentos penetração de forma a reduzir a sua deflexão, pois como a sua largura é reduzida, não possuem rigidez lateral que permita avanços axiais em operações onde a profundidade de corte é superior à largura da ferramenta.

Além das operações anteriormente descritas, estas ferramentas também podem realizar operações de acabamento de formas complexas, em que é necessário atingir pontos onde uma ferramenta convencional não conseguiria chegar. A Figura 34 apresenta diversos tipos de ferramentas de sangrar, assim como as suas aplicações.



*Figura 34 - Ferramentas de ranhurar*

#### 2.5.5.4. Buril

O buril é semelhante ao ferro de torneiar que permite fazer roscas tanto internas como externas. Esta ferramenta possibilita a formação de roscas com vários passos e profundidades. Normalmente a formação de rosca é feita através de várias passagens de forma progressiva. A vantagem desta ferramenta relativamente ao uso de macho ou caçonete é a possibilidade de fazer roscas em secções descontínuas na peça. A Figura 35 apresenta algumas ferramentas de rosca a buril.



*Figura 35 - Ferramentas de rosca a buril*

#### 2.5.5.5. Ferro de recartilhar

A recartilhagem é realizada com um ferro de recartilhar que, dependendo do recartilhado pretendido, pode ter um ou dois rolos de recartilhar. A Figura 36 apresenta alguns padrões de recartilhagem e ferramentas



Figura 36 - Padrões e ferramentas de recartilhar

## 2.5.6. Suportes Ferramenta

Os suportes das ferramentas são o ponto de ligação entre a máquina e a ferramenta. Os atuais sistemas de ferramentas foram projetados de forma a que, após o operador colocar os suportes de ferramentas com as ferramentas acopladas a máquina, se consiga trocar as ferramentas sem que seja necessária a intervenção do operador.

Nos centros de maquinagem existem vários tipos e tamanhos de acoplamento normalizados - Figura 37 - (ISO, DIN, BT, CT, HSK, etc), que são constituídos por um cone, que permite o acoplamento e centragem na árvore da máquina, um pino de retenção na extremidade do cone e o sistema de aperto da ferramenta. No entanto os sistemas do tipo HSK, específicos para aplicações de elevada velocidade de rotação, não possuem pino de retenção.



Figura 37 - Suportes ferramenta

A Tabela 7 apresenta a comparação entre os sistemas de aperto mais comuns e a Figura 38 os cones de aperto mais comuns.



Figura 38 - Cones de aperto

Tabela 7 - Resumo de porta ferramentas (adaptado de [18])

	Weldon	Porta pinças	Cone hidráulico	Aperto térmico
<b>Precisão</b>	Baixa precisão uma vez que o parafuso de aperto força a ferramenta contra a parede	Elevada precisão	Aperto uniforme através de força radial	Aperto uniforme por toda a ferramenta e com contacto entre suporte e ferramenta
<b>Versatilidade</b>	Apenas um diâmetro de encabadouro por suporte	Vários diâmetros de aperto, bastando apenas trocar a pinça de aperto		Apenas um diâmetro de encabadouro.
<b>Facilidade de montagem</b>	Fácil, basta apertar um parafuso	Fácil, apertar porca de aperto na pinça		Necessário equipamento específico para aquecer o porta ferramentas
<b>Fiabilidade</b>	Sem manutenção	Limpeza regular das pinças (substituição se necessário) e do suporte de ferramentas	Limpeza regular e mudança de casquilhos	Sem manutenção
<b>Balanceamento</b>	Não é balanceado	Balanceado	Elevada concentricidade, mas massa elevada	Balanceado e com peso reduzido
<b>Custo</b>	Barato	Acessível	Caro	Muito caro
<b>Melhor aplicação</b>	Maquinagem pesada a baixas velocidades com ferramentas de grandes dimensões	Uso corrente	Aplicações com precisão moderada	Aplicações de elevada precisão e alta velocidade

### 2.5.7. Materiais e Revestimentos das Ferramentas

Atualmente existem vários materiais ferramenta e revestimentos usados nas ferramentas de corte.

Dada a elevada diversidade, é importante conhecer as diferenças entre os vários materiais, assim como a sua correta aplicação. As propriedades mais importantes nos materiais ferramenta são as seguintes:

- **Dureza:** definida como a resistência à penetração, é diretamente relacionada como a resistência do material. Normalmente com o aumento da temperatura a dureza dos materiais tende a diminuir, como se pode observar na Figura 39. A capacidade de manter a dureza a altas temperaturas é designada de dureza a quente.

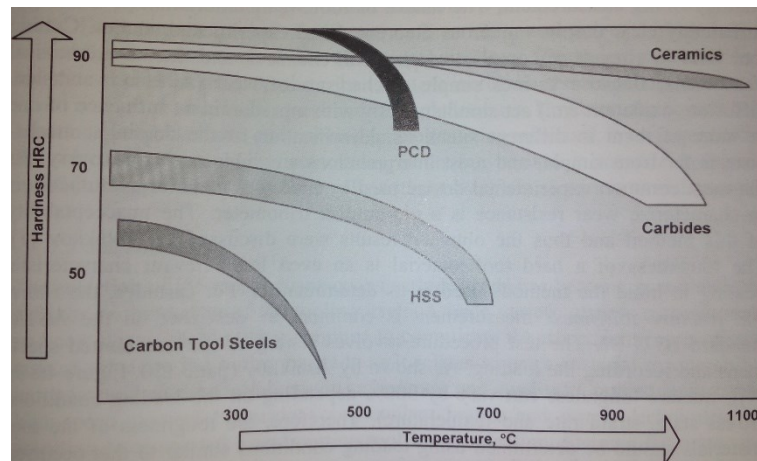


Figura 39 - Dureza dos materiais versus a temperatura

- **Tenacidade:** definida como a capacidade de absorver energia antes da fratura. Quanto maior a resistência à fratura de um material, melhor é a resistência aos choques, lascamento e vibrações.
- **Resistência ao Desgaste:** normalmente esta propriedade está relacionada com a duração da vida útil da ferramenta.

Os materiais para ferramentas devem combinar todas as características anteriormente descritas. Estas características não podem ser satisfeitas por um único material dado que, por vezes, estas características são antagónicas como o caso da tenacidade vs dureza representado na Figura 40.

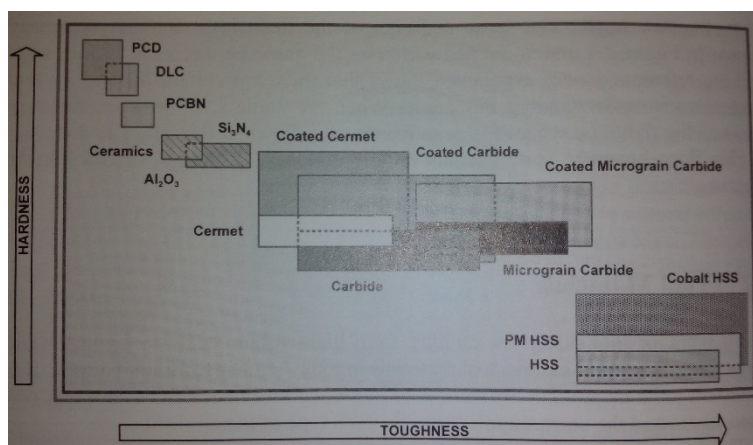


Figura 40 - Dureza versus Tenacidade

Os materiais para ferramentas de corte por arranque de apara podem ser agrupados como se segue por ordem crescente de dureza: aços rápidos (HSS), carbonetos sinterizados, *cermets*, cerâmicos e ultraduros. O grupo mais utilizado em maquinagem é o dos carbonetos sinterizados, ultrapassando os aços rápidos que tem vindo a perder a predominância. [5]

#### 2.5.7.1. Aço Rápido (HSS)

Os aços rápidos são ligas de ferro com elevado teor em elementos de liga que conjugam a elevada resistência ao desgaste, tenacidade e baixo custo. Os aços rápidos são bastante utilizados em ferramentas com geometrias complexas ou em operações de corte interrompido, onde a elevada tenacidade deste material o torna uma boa escolha. São também usados na produção de protótipos ou de pequenas séries que requeiram ferramentas muito especializadas, onde o tempo de vida da ferramenta não é relevante.

Normalmente estes aços podem ser divididos em quatro categorias: tungsténio; molibdénio; molibdénio-cobalto; molibdénio-vanádio. A influência de cada um destes elementos é a seguinte[5]:

- **Tungsténio:** aumenta a resistência à têmpera e à abrasão
- **Molibdénio:** aumenta a tenacidade
- **Vanádio:** aumenta a resistência à abrasão nas ferramentas de acabamento
- **Cobalto:** aumenta a dureza a quente, assim como o aumento da temperatura de têmpera.

#### 2.5.7.2. Carbonetos Sinterizados

Atualmente as ferramentas de carbonetos sinterizados são as mais utilizadas nas operações de corte por arranque de apara. O grupo das ferramentas de carboneto é constituído por carbonetos de tungsténio (WC), titânio (TiC), tântalo (TaC) e nióbio (NbC) dispersos numa matriz de cobalto. O aumento do teor em cobalto aumenta a tenacidade do material enquanto que a sua resistência diminui.[2]



Dada a elevada variedade de carbonetos existente, tamanho de grãos, densidade, matriz aglomerante e temperatura de sinterização disponíveis, a ISO recomenda o agrupamento dos carbonetos em três grupos, grupo P, M e K (não confundir com código ISO de materiais para maquinar):

**Grupo P** – Classes usadas em maquinagem de metais e ligas ferrosas que apresentam aparas longas e dúcteis.

**Grupo M** – Classes usadas em maquinagem de metais e ligas ferrosas que apresentam aparas longas ou curtas; é um grupo de transição.

**Grupo K** – Classes que se destinam a maquinagem de metais e ligas ferrosas que apresentam aparas fragmentadas e materiais não metálicos.

### 2.5.7.3. Carbonetos Sinterizados Revestidos

Um dos maiores avanços na indústria de corte por arranque de apra foi a introdução de revestimentos superficiais nas ferramentas de metal duro. Os revestimentos aumentam consideravelmente o tempo de vida da ferramenta assim com a sua performance em aplicações onde os carbonetos sem revestimento apresentam limitações.

O grupo de revestimentos mais comum são à base de titânio normalmente depositados numa ou mais camadas sobre o substrato de carboneto, como é possível observar na Figura 41. Os revestimentos de titânio mais comuns são:

- **TiN:** aplicação geral, resistência ao desgaste por abrasão melhorada.
- **TiCN:** multi-aplicação em maquinagem de aço, maior resistência ao desgaste que TiN. Aplicação em mono e multicamada.
- **TiAlN e TiAlCN:** revestimento de elevado desempenho para velocidades de corte elevadas e maquinagem a seco. Resistência à temperatura (800-900°C) e aplicação em multi ou nano camada.
- **WC-C e MoS<sub>2</sub>:** oferece lubrificação sólida na interface ferramenta-apara, reduzindo significativamente a temperatura devido a fricção. Tem resistência térmica limitada. Recomendado para aplicações onde a adesão é um problema, tais como: alumínio, cobre e materiais não metálicos.
- **CrN:** usado em ligas de cobre (latões, bronze, etc).

Além dos revestimentos de titânio existem mais três grupos de revestimentos. Revestimentos cerâmicos à base de óxido de alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); revestimento ultraduros, onde se insere a deposição química por vapor de diamante (CVD); revestimentos suaves com camada sólida lubrificante que reduzem o desgaste durante o corte, normalmente este tipo de revestimento é depositado no topo de revestimentos ultraduros.[2]



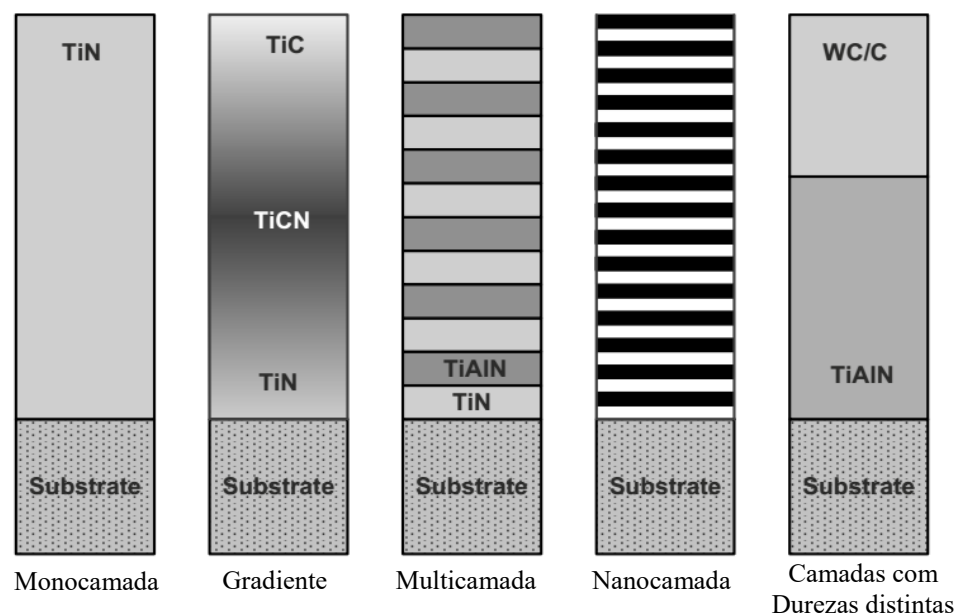


Figura 41 - Diferentes tipos de revestimentos de carbonetos [2]

#### 2.5.7.4. Cermets

Os cermets são formados por partículas cerâmicas dispersas numa matriz metálica. A parte cerâmica é normalmente formada por compostos refratários não metálicos ( $\text{TiC}$  e  $\text{TiN}$ ) ou por carbonetos de Tungstênio ( $\text{WC}$ ), Tântalo ( $\text{TaC}$ ) e Nióbio ( $\text{NbC}$ ), aglomerados numa fase metálica de menor ponto de fusão (cobalto, níquel ou Molibdênio).

A vantagem dos cermets relativamente aos carbonetos são: menor coeficiente de atrito, maior resistência à oxidação e dureza a quente e menor tendência para a adesão no aço.

A sua aplicação primordial é no desbaste ligeiro e acabamento de aços ao carbono ligados e aços inoxidáveis. As suas gamas de velocidades de corte situam-se entre as dos carbonetos sinterizados e os cerâmicos. No entanto não são adequados para desbastes pesados e para maquinagem de ligas não ferrosas.[1]

#### 2.5.7.5. Cerâmicos

Os materiais cerâmicos para uso em ferramentas de corte por arranque de apra podem ser divididos em dois grupos: cerâmicos à base de alumina e cerâmico à base de nitreto de silício.

As principais vantagens do uso deste material em ferramentas são a elevada dureza e resistência à abrasão a quente, elevada estabilidade química que resolve o problema da adesão, possibilidade de usar velocidades de corte elevadas e possibilidade da obtenção de acabamentos superficiais de elevada qualidade, dispensando muitas vezes operações de acabamento. No entanto as ferramentas cerâmicas não são indicadas para uso em operações onde exista corte interrompido, pois tem uma tenacidade muito reduzida. São também desaconselhadas para o uso com velocidades de corte reduzidas, assim como na maquinagem de ligas de alumínio, titânio e magnésio.

Devido à reduzida tenacidade deste material, é necessário garantir uma elevada rigidez da peça, assim como da máquina, de forma a garantir a ausência de vibrações. Outra aspecto relevante no uso de materiais cerâmicos é a necessidade de preparar a peça com chanfros nas zonas de entrada e saída ferramenta.[1]

A principal aplicação deste material é na maquiagem de ferros fundidos cinzentos, aços endurecidos e superligas de níquel (por ex.: *Inconel e Incalloy*).

#### **2.5.7.6. Ultra Duros**

Apesar do desenvolvimento destes materiais ter sido iniciado nos anos 70, só recentemente o seu uso começou a aumentar devido à sua aplicação em estratégias de maquinagem pesada. Até à data apenas dois materiais fazem parte desta categoria, nitreto de boro cúbico (CBN) e diamante sintético policristalino (PCD). Normalmente estes materiais são usados apenas em insertos ou em revestimentos.

##### **Nitreto de Boro Cúbico (CBN)**

Este material possui uma elevada resistência aos impactos, que o torna bastante interessante em operações de desbaste pesado de materiais ferrosos endurecidos, possui também elevado coeficiente de dissipação de calor e resistência à abrasão. As ferramentas feitas com este material devem ter chanfros nas ponta e apenas ser usadas na maquinagem de materiais duros (45 HRC) de forma a evitar desgaste excessivo por abrasão.

As aplicações recomendadas para este material é a maquinagem de ferros fundidos, ferro fundido vermicular, aços e ligas endurecidas.

##### **Diamante Policristalino (PCD)**

A produção de diamante policristalino é feita a partir da deposição em camadas de partículas de cristais de diamante, obtido através de grafite, num substrato de tungsténio. O PCD tem uma resistência à abrasão cerca de 500 vezes superior à do carboneto de tungsténio, assim como uma elevada condutividade térmica.

As ferramentas de PCD estão cada vez mais a substituir as ferramentas de tungsténio e outros materiais nas operações de corte por arranque de apra. Apesar de terem um custo mais elevado, este é amortizado com a possibilidade de realizar um maior número de peças usando apenas uma ferramenta. É possível afiar este tipo de ferramentas, prolongando assim o seu tempo de vida útil.

De forma simplificada, a Tabela 8 apresenta a performance que cada material ferramenta tem em cada uma das características base dos materiais ferramenta.

Tabela 8 - Resumo das características dos materiais ferramenta [5]

Performance Características	<div> Má ← ———— <b>Performance</b> ———→ Boa </div>				
Dureza a quente	HSS	Carboneto Sinterizado	Carboneto Revestido Cermet	Cerâmico	
Resistência à Abrasão	HSS	Carboneto Sinterizado	Carboneto Revestido Cermet	Cerâmico	
Tenacidade	Cerâmico	Cermet	Carboneto Revestido	Carboneto Sinterizado	HSS
Resistência à deformação Plástica	HSS	Carboneto Sinterizado	Carboneto Revestido Cermet	Cerâmico	
Resistência à fissuração térmica	Cerâmico ( $Al_2O_3$ )	Cermet	Carboneto Revestido Carboneto Sinterizado	Cerâmico ( $Si_3N_4$ )	HSS
Estabilidade química	HSS	Carboneto Sinterizado	Carboneto Revestido	Cermet	Cerâmico
Resistência à adesão	HSS	Carboneto Sinterizado	Carboneto Revestido	Cermet	Cerâmico

## 2.6. Cadeia/transferência de cotas de fabricação

Na fase de produção de uma peça, a cotagem funcional deixa de ser útil, pois muitas vezes não é representativa do processo de fabrico escolhido.

A transferência para a cotagem funcional é feita através de um meio e cálculo que permite a determinação das cotas úteis à maquinagem. Estas cotas podem ser chamadas cotas de fabrico, que normalmente são a distância entre o sistema de apoio da peça e a ferramenta de corte. No entanto, estas cotas são dependentes da sequência de maquinagem adotada, assim como dos sistemas de apoio utilizados em cada fase. Quando as cotas de fabrico coincidem com as cotas funcionais, designam-se por *cotas diretas*; quando resultam da adição de várias cotas de fabrico, chamam-se *cotas indiretas*.

As cotas de fabrico têm associadas dispersões diretamente ligadas ao processo de maquinagem e que podem ter quatro origens [11]:

- Dispersão aleatória, dependente do material e geometria da peça;
- Dispersão sistemática, ligada ao desgaste das ferramentas;
- Dispersão devido a defeitos geométricos intrínsecos da própria máquina;
- Dispersão de origem térmica devido à variação da temperatura do material e da máquina.

Na elaboração de uma cadeia de cotas, por comodidade, as cotas são substituídas por vetores (Figura 43).

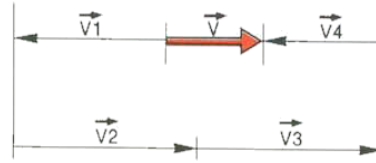


Figura 42 - Cadeia de cotas

Aplicando-se assim as regras da soma vetorial:

$$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3 + \vec{V}_4 \quad (1)$$

Existe apenas um vetor condição (cota funcional) -  $\vec{V}$  - por cadeia de cotas (1).

$$V_{max} = (V_{2\ max} + V_{3\ max}) - (V_{1\ min} + V_{4\ min}) \quad (2)$$

$$V_{min} = (V_{2\ min} + V_{3\ min}) - (V_{1\ max} + V_{4\ max}) \quad (3)$$

A tolerância da cota funcional ( $V$ ) é igual à soma das tolerância das cotas componentes ( $V_1, V_2, V_3, V_4$ ) e a sua tolerância tem de ser menor ou igual à tolerância da cota funcional. Caso contrário, a sequência de maquinagem não respeita o desenho funcional da peça.

Considere-se a Figura 43, onde as cotas funcionais são  $A$  e  $B$ , e as de fabrico  $Cf1$  e  $Cf2$ . Em qualquer situação, deve-se respeitar o seguinte:

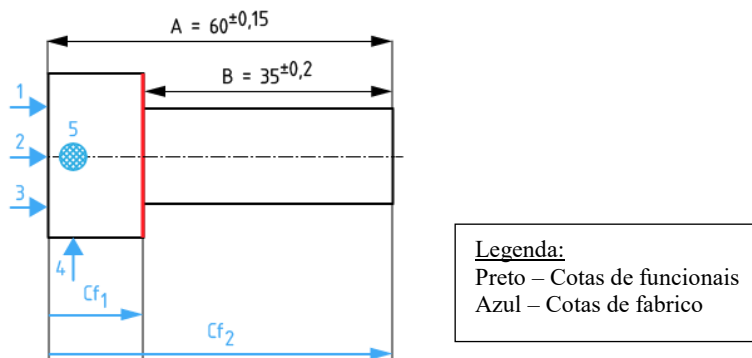


Figura 43 - Representação das cotas funcionais e de fabrico [10]

- A tolerância de cota funcional  $\geq \sum$  das tolerâncias das cotas de fabrico.

Se a cota  $A = 60 \pm 0,25$  e  $B = 35 \pm 0,15$ ,  $Cf1$  é negativo. Com esta cadeia de cotas é então impossível satisfazer a cotagem de fabrico.

$$\text{Tolerância } B = \text{Tolerância } A + \text{Tolerância } Cf1$$

$$0,3 = 0,5 + (-0,2)$$

- A tolerância da cota funcional deve ser praticável

Se  $A = 60 \pm 0,31$  e  $B = 35 \pm 0,3$ ,  $Cf1 = 0,01$ . A tolerância calculada para  $Cf1$  é bastante apertada e não é possível ser satisfeita pela maioria dos meios de fabricação convencionais. Como é possível ver na , que apresenta as tolerâncias máximas atingíveis para vários processos de maquinagem, esta tolerância apenas é garantida com a retificação da peça. Estes casos devem ser analisados e verificados de forma a garantir a realização da cota de fabrico, mantendo a viabilidade económica da peça.

*Tabela 9 - Valores de tolerâncias económicas para vários processos de maquinagem [10]*

Processo de maquinagem	Desbaste [mm]	Semi-Acabamento [mm]	Acabamento [mm]
Corte	2	-	-
Torneamento, Fresagem	0,5	0,25	0,05
Furação	0,3	0,1	0,1
Mandrilagem	0,2	0,1	0,03
Rectificação	0,2	0,05	0,01
Brochagem	0,1	0,03	0,01
Rodagem	-	-	0,005

## 2.7. Sobre-espessura para maquinagem

Numa fase inicial de preparação do trabalho, deve definir-se a forma e as dimensões do esboço (peça inicial), tendo sempre como referência o desenho de definição da peça. Nesta fase deve-se procurar limitar o volume do material a ser retirado por maquinagem de forma a reduzir o tempo de maquinagem, aumentar o tempo de vida útil das ferramentas e reduzir o custo final da peça. Isto é alcançado reduzindo ao mínimo as sobre-espessuras.

A peça inicial pode ser parte de um semi-produto (barra, varão, placa, etc) ou ser obtida por um processo primário (fundição, forjamento, etc). No caso dos semi-produtos a primeira operação é o corte, pois os semi-produtos apenas se encontram disponíveis em dimensões standards (comprimento, largura e espessura). Caso o corte seja realizado pelo próprio fornecedor, esta etapa não faz parte da sequência de maquinagem; caso contrário o corte é a primeira fase da sequência de maquinagem.

Quando o esboço é proveniente de um semi-produto, a escolha das sobre-espessuras é limitada aos perfis e medidas disponíveis, sendo nesse caso necessário definir a dimensão normalizada que melhor satisfaz as medidas do esboço inicial.

Considere-se a Tabela 10 que contém as sobre-espessuras mínimas para as operações mais comuns. Em operações de corte com serra é comum acrescentar 4 a 5 mm de sobre-espessura que corresponde, segundo a Tabela 9, à amplitude máxima da tolerância dessa operação.

*Tabela 10 - Valores de sobre-espessura corrente [10]*

Processo	Operação	Sobre-espessura mínima [mm]
Torneamento	Desbaste Pesado	1,5 a 3
	Desbaste	1
Fresagem	Semi-Acabamento	0,5
	Acabamento	0,2
Retificação	Acabamento	0,05
Brochagem	Acabamento	0,05
Rodagem	Acabamento	0,03

Quando as peças são obtidas através de um processo de fundição ou forjamento, a sua forma é definida não só pela adição das dimensões mínimas do esboço, mas também pelas limitações do processo de obtenção [11]:

- Raio de canto (necessário para a desmoldagem)
- Planos de apartação
- Tolerâncias inerentes ao processo primário de obtenção do esboço
- Ângulos de saídas das faces

A Figura 44 exemplifica o processo de cálculo da sobre-espessura para uma peça obtida por fundição. Caso a peça seja proveniente de um produto standard, tem-se apenas em conta as dimensões mínimas do esboço, onde depois se escolhe o perfil mais adequado. De notar que esse perfil deve ter no mínimo as dimensões do esboço, podendo em alguns casos ser necessário usar um perfil com medidas superiores por falta de medidas mais adequadas.

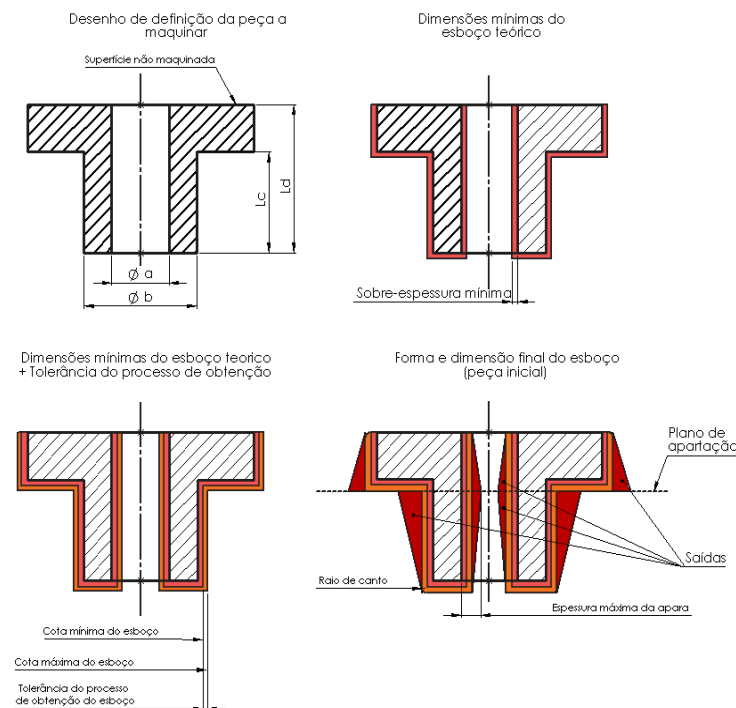
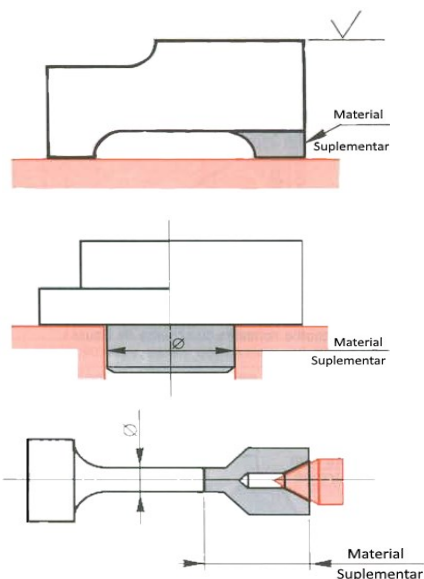


Figura 44 - Sobre-espessuras numa peça obtida por fundição [11]

Existem, no entanto, algumas situações em que é necessário adicionar à geometria da peça inicial zonas suplementares (postigos) que serão removidos antes da conclusão das peças e que facilitam o apoio, posicionamento, etc; da peça durante a sua fabricação. Na Figura 45 estão detalhadas algumas dessas situações onde é necessária a adição de postigos à geometria inicial da peça.



O material suplementar ajuda à qualidade do posicionamento e da rigidez do aperto da peça durante a operação de fresagem.

Adição de material suplementar permite simplificar a centragem de uma peça com geometria complicada.

O pequeno diâmetro da peça não permite a execução de um furo para o ponto com as dimensões corretas.

*Figura 45 - Exemplo de aplicação de material suplementar [10]*

## 2.8. Elaboração de sequência maquinagem e gama de controlo e documentação (Fichas de fase)

A sequência de maquinagem consiste num conjunto de documentos onde são consignados, de forma cronológica e global, as diferentes fases de transformação da peça mecânica desde o seu estado inicial (esboço) e a peça acabada. Uma fase representa o conjunto de operações a efetuar num mesmo posto de trabalho, num mesmo posicionamento e na mesma fixação [11]

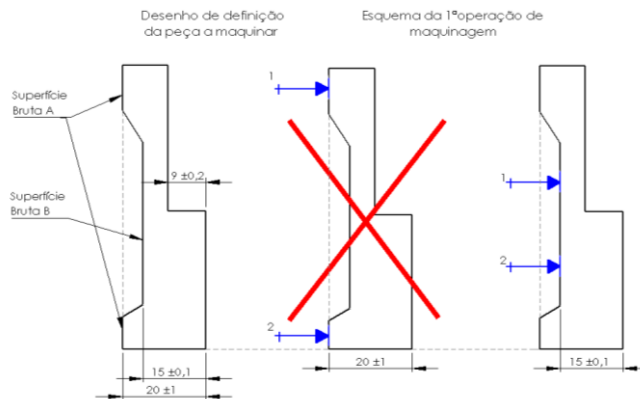
O primeiro documento realizado no planeamento de uma sequência de maquinagem é a definição de uma sequência das fases de maquinagem. A primeira fase depende das especificações do desenho de definição, que ligam as superfícies brutas às superfícies maquinadas. É imperativa uma análise cuidada do desenho de definição, da forma e de todas as especificações a respeitar.

A análise do desenho de definição deve ser feita respeitando a seguinte sequência:

1. Quantidade de peças a produzir
2. Cadência
3. Material
4. Geometria da peça
5. Estabelecimento de um referencial X, Y e Z para cada uma das vistas da peça
6. Marcação a vermelho de todas as superfícies a maquinar
7. Marcação a verde das superfícies a permanecer em bruto
8. Análise das especificações segundo os três eixos e para todas as vistas
9. Identificação e escolha das cotas de ligação entres as superfícies em bruto e as superfícies a maquinar

Em peças cujos os esboços são obtidos por fundição, não devem ser escolhidas zonas junto ao plano de apartação como zonas de apoio do esboço pois é normal a existência de rebarba e de desvios característicos da moldação que alteram o correto posicionamento da peça. Deve-se assim procurar apoiar o esboço em zonas

que pertençam ao mesmo lado da moldação, evitando assim desvios adicionais. Sendo assim devem usar-se superfícies de partida do esboço onde o desenho de definição exija o respeito de uma dimensão entre essa superfície (bruta) e uma maquinada de menor tolerância, como o exemplo da Figura 46.



A superfície de partida de esboço a selecionar para a 1ª operação é a esquerda, sendo definida pelos apoios 1 e 2

*Figura 46 - Seleção da superfície de partida*

Quando não existem dimensões a respeitar entre as superfícies brutas e as superfícies maquinadas, deve-se procurar escolher superfícies que melhor garantam uma boa fixação da peça. [11]

De forma a resumir todo o processo de maquinagem, deve ser elaborado um documento que agrega toda a sequência de maquinagem e onde estão presentes algumas informações mais relevantes para cada fase (operações, ferramentas e sistemas de apoio). Este documento chama-se sequência de maquinagem e pode ser visto como um resumo de todas as fichas de fase.

As fichas de fase são estabelecidas pelo responsável da gama de maquinagem e como se pode ver na Tabela 12, que apresenta um exemplo de preenchimento de uma ficha de fase, apresenta toda a informação necessária para a realização da peça. As informações dadas pela ficha de fase são as seguintes:

#### **Informações relativas à fase**

- Modo de maquinagem (torneamento, fresagem, etc.)
- Número de fase
- Tipo de máquina usada
- Natureza do dispositivo de posicionamento e fixação da peça

#### **Informações relativas à peça**

- Nome do conjunto a que pertence
- Nome da peça
- Cadência de fabrico
- Estado da peça em esboço (fundição, forjada, etc)
- Desenho da peça no estado em que se encontra após a fase:
  - Superfícies a maquinar na fase a traço grosso
  - Representação da simbologia de apoio e aperto na fase
  - Representação das cotas de fabrico e suas tolerâncias (Cf)
  - Tolerâncias geométricas e estados de superfície
  - Desenho da ferramenta (opcional)



- Ciclo de maquinagem (opcional)

**Informações relativas às operações a efetuar**

- Natureza da operação
- Cotas de fabrico (Cf)
- Tolerâncias geométricas e de estados de superfície

**Dados de corte**

- $V_c$  – velocidade de corte
- $n$  – velocidade de rotação (rpm)
- $f$  – avanço por rotação em mm/rot (torneamento)
- $f_z$  – avanço por dente em mm (fresagem)
- $V_f$  – avanço em mm/min
- $A_p$  – profundidade de corte em mm

**Dados das ferramentas de corte**

- Ferramenta (tipo, natureza, raio de ponta, numero de dentes)
- Porta ferramentas

**Ferramenta de controlo**

- Nome e características dos instrumentos utilizados

Tabela 11 - Exemplo de uma sequência de maquinagem [11]

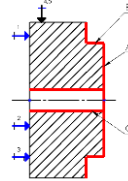
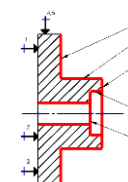
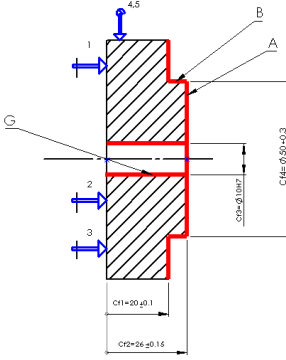
Sequência de maquinagem			
Conjunto: Êmbolo		Peça: Pistão	Material – St52
Responsável:		Grupo:	Data: 04/07/2017
Fase 10			
Máquina: Torno Convencional			
Operações		Ferramentas	Desenhos + Isostatismo
<ul style="list-style-type: none"><li>- Facejamento em acabamento Face A</li><li>- Torneamento em acabamento Face B</li><li>- Furação de ponto de G<ul style="list-style-type: none"><li>- Furação de G</li></ul></li><li>- Mandrilagem de G</li></ul>		<p>Ferramenta de acabamento em carbonetos</p> <p>Ferramenta de acabamento em carbonetos</p> <p>Broca de Ponto</p> <p>Broca de HSS</p> <p>Mandril</p>	
Fase 20			
Máquina:			
Operações		Ferramentas	Desenhos + Isostatismo
<ul style="list-style-type: none"><li>- Torneamento e facejamento em desbaste de C,D,E</li><li>- Torneamento de E em acabamento</li><li>- Torneamento de C em acabamento</li><li>- Torneamento de D em acabamento</li><li>- Desbaste e acabamento de F, H</li></ul>		<p>Ferramenta de acabamento em carbonetos</p> <p>Mandril</p>	

Tabela 12 - Exemplo de uma Ficha de Fase [11]

Ficha de Fase									
<b>Fase nº:</b> 10			<b>Máquina:</b> Torno CNC				<b>Sector:</b> Torneamento		
<b>Conjunto:</b> Êmbolo			Haas ST10				<b>Página</b> 1 de 1		
<b>Peça:</b> Pistão			<b>Dispositivo de Aperto:</b>				<b>Data:</b> 04/07/2017		
<b>Material:</b> St52			Buchas de 3 grampos				<b>Responsável:</b>		
<b>Cadência:</b> 24 peças/dia			<b>Dados de corte</b>				<b>Ferramentas</b>		
<b>Operações de maquinagem</b>									
Nº	Ref	Designação	Vc [m/min]	n [rpm]	f [mm/rot]	Vf [mm/min]	Ap [mm]	Maquinagem	Controlo
1	A	Facejamento	150	770	0,15	-	-	Ferramenta de Carbonetos	Paquímetro
2	B	Torneamento	150	770	0,15			Ferramenta de Carbonetos	Paquímetro
3	G	Furo de ponto	25					Broca de Ponto, HSS	Paquímetro
4	G	Furação	25	840	0,25			Broca helicoidal Ø9.8, HSS	Paquímetro
5	G	Mandrilagem	12,5	400	0,30			Mandril Ø10H7, HSS	Micrómetro de Interiores



### 3. Maquinagem CNC e Sistemas CAD/CAM

As máquinas-ferramenta e o controlo numérico computadorizado têm desempenhado um papel fundamental no desenvolvimento da indústria. A par do desenvolvimento mecânico e dos sistemas de controlo também o desenvolvimento de *software* dedicado à programação deste tipo de máquinas (CAM) tem sofrido grandes avanços de forma a ser possível acompanhar o desenvolvimento do *hardware* sem que se comprometa a produtividade.

O controlo numérico computadorizado trouxe inúmeras vantagens à indústria, das quais se destacam as seguintes[8]:

**Produtividade:** diminuição do tempo total de maquinagem, especialmente o tempo de posicionamento e deslocamento em vazio, assim como o aumento da rapidez da execução desses movimentos.

**Flexibilidade:** devido ao grande número de operações que estas máquinas são capazes de executar e a rapidez com que se pode trocar de programa, permite a execução de pequenas séries ou mesmo protótipos de forma rentável.

**Precisão:** o uso de sistemas de controlo em malha fechada, onde são usados servomotores em conjunto com *encoders* ou réguas óticas permitem precisões na ordem dos microns [19]. Em sistemas onde é necessário um controlo mais elevado do posicionamento, é frequente a utilização de réguas óticas em paralelo com *encoders*, assim como algoritmos de compensação da temperatura ambiente que permitem elevar a precisão dos posicionamentos até às décimas de micron. [20]

**Fiabilidade:** após a elaboração e validação do programa peça e dos apertos, é possível produzir peças a um ritmo constante sem que sejam necessárias paragens para ajustes.

**Viabilização de peças complexas:** peças com formas bastante complexas e paredes finas, como as peças típicas da indústria aeronáutica, podem ser realizadas de forma mais rentável e com elevada precisão. Nestes casos o software CAM é responsável em grande parte pela viabilização da produção deste tipo de peças pois permite a geração de código rapidamente, assim como a simulação do processo que permite a redução de erros durante a maquinagem.

#### 3.1. Centros de Maquinagem

Um centro de maquinagem é uma máquina-ferramenta que tem por base uma fresadora convencional. É capaz de realizar operações de fresagem, furação, roscagem e mandrilagem. Em alguns casos é também possível tornear e talhar engrenagens.

Os centros de maquinagem podem ser verticais (árvore no sentido vertical) ou horizontais (árvore no sentido horizontal) e possuem 3 ou mais eixos. O tipo de centros de maquinagem mais amplamente implementado é o centro vertical de 3 eixos. Em casos onde existe a necessidade de produção de peças geometricamente complicadas são normalmente usados centros com 4 ou 5 eixos, sendo ainda possível o uso de máquinas multitarefa que possui um maior número de eixos. Em casos onde seja necessário alta cadência de produção é comum o uso de centros horizontais com paletes, pois permite o carregamento e descarregamento

das peças fora da máquina sem que seja necessário que a máquina esta parada enquanto o operador efetua essas operações.

Ainda nos centros de maquinagem, existem máquinas para tarefas mais específicas, como as *router* e as de coluna móvel. As do tipo *router* possuem uma mesa fixa e uma estrutura tipo pórtico que se movimenta ao longo da mesa e são usualmente usadas em aplicações onde as peças a trabalhar se assemelham a placas e as operações a efetuar são maioritariamente o seu galgamento. Os centros de mesa fixa são máquinas usadas em peças de grandes dimensões e que frequentemente possuem cabeças multi-eixo, conferindo a estas máquinas a capacidade de alcançar zonas de difícil acesso assim como a maquinagem de geometrias complexas. A Figura 47 mostra alguns dos tipos de centros de maquinagem acima mencionados.

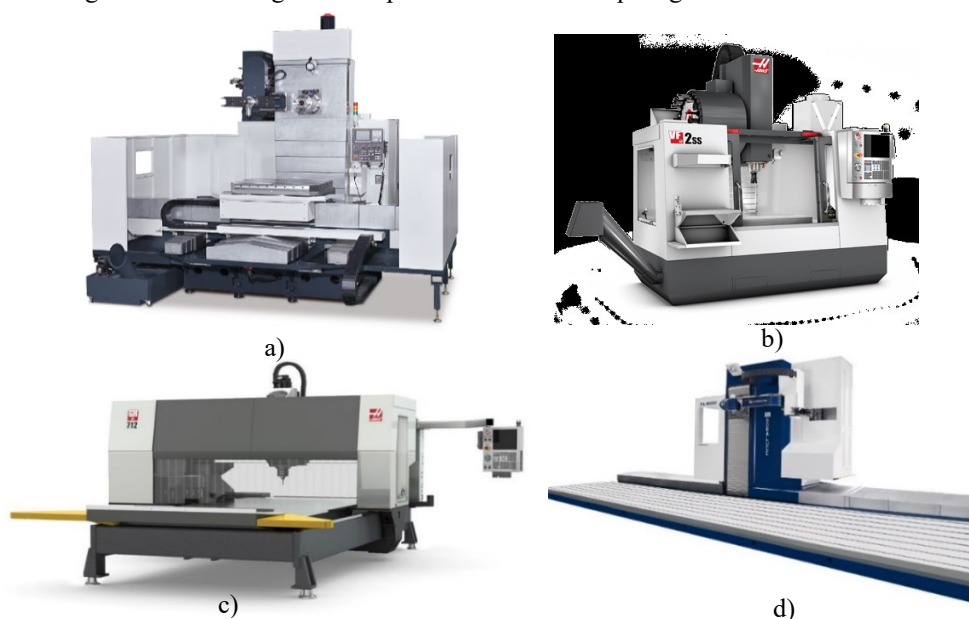


Figura 47 - Vários tipos de centros de maquinagem a) Centro Horizontal b) Centro Vertical c) Router d) Mesa fixa

### 3.1.1. 3 Eixos

As máquinas de 3 eixos, dependendo se são verticais ou horizontais, têm os eixos dispostos como na Figura 48. O eixo dos Z por norma está sempre alinhado com a árvore da máquina, sendo o seu sentido positivo aquele que à medida que a ferramenta se afasta da peça a cota aumenta. Os eixos X e Y deduzem-se a partir do eixo Z formando um triedro direto. O plano XY numa fresadora, é o da mesa de trabalho. [11] Normalmente o eixo Y é aquele que entre os eixos X e Y tem o menor curso.

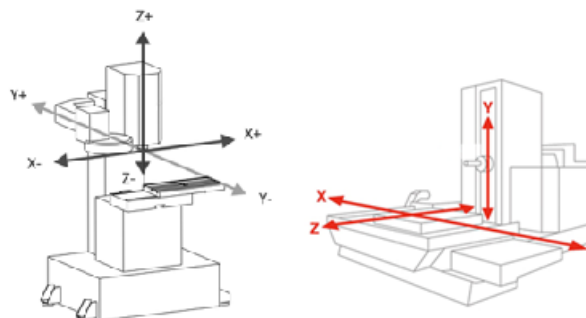


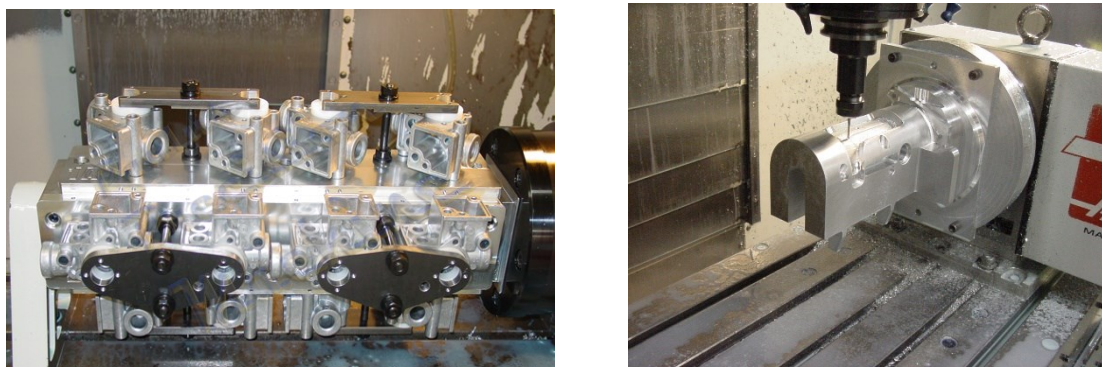
Figura 48 - Orientação dos eixos num centro de maquinagem vertical (esq) e horizontal (dir)

### 3.1.2. 4 Eixos

As máquinas de 4 eixos, são basicamente máquinas de 3 eixos com a capacidade de rodar a peça em torno do eixo X ou Y. Conforme a Figura 50 caso a rotação seja sobre o eixo X, este toma a designação de eixo A. Caso a rotação seja em torno do eixo Y, toma a designação de eixo B.

É de referir que os sistemas de 4 eixos podem ser de dois tipos: sistemas contínuos ou sistema indexantes. A diferença entre estes dois sistemas reside na capacidade de o eixo se movimentar durante os movimentos de corte. Enquanto que o sistema contínuo é capaz de rodar e possibilitar a maquinação de peças complexas, o sistema indexante apenas roda quando não existem movimentos de corte, necessitando que hajam tempos de posicionamento para a sua rotação.

Os sistemas indexantes são uma excelente opção para aplicações em que o 4º eixo é usado para rodar um gabarito como o da Figura 49 (esq) pois além de serem uma opção mais barata que os sistemas contínuos, possuem um travão mecânico que tranca o sistema na posição desejada. Os sistemas contínuos por outro lado são capazes de realizar peças com superfícies complexas como a da Figura 49 (dir) e muitas vezes são uma opção para operações em peças de torno que possuem características radiais que não são exequíveis no torno convencional. [21]



*Figura 49 - Exemplo de aplicação do 4º eixo indexante (esq) e 4º eixo contínuo (dir)*

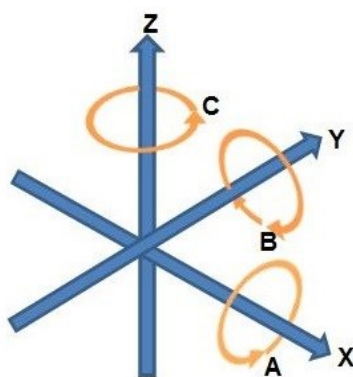
### 3.1.3. 5 Eixos

Na última década as máquinas de 5 eixos tornaram-se mais compactas e economicamente mais acessíveis. Paralelamente a sua programação tornou-se mais simples e eficiente. Estes avanços promoveram o aumento do uso destas máquinas em aplicações que envolvam geometrias complexas e tolerâncias rigorosas. [22]

Assim como as máquinas de 4 eixos, as de 5 podem ser de 5 eixos simultâneos ou terem eixos indexantes. As máquinas que usam eixos indexantes são conhecidas por máquinas de 3+2 eixos. Em maquinação com 5 eixos simultâneos, como mostra a Figura 50, os 3 eixos lineares (X, Y e Z) e os dois rotativos (A e B) podem movimentar-se simultaneamente de forma a ser possível a maquinação de formas complexas. As vantagens do uso de 5 eixos simultâneos são a possibilidades de maquinação de 5 faces num único aperto, a rapidez do deslocamento da ferramenta e a qualidade do acabamento superficial. [23]

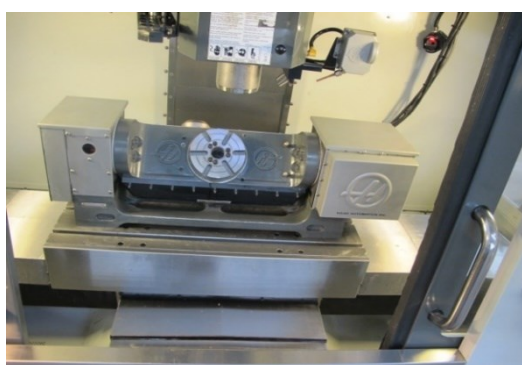
A maquinação com sistemas de 3+2 eixos é normalmente usada em peças menos complexas. Os eixos rotativos são usados para posicionar a peça e melhorar o acesso da ferramenta, assim como permitir o

uso de ferramentas mais curtas e rígidas. De um modo geral, este tipo de sistemas é mais rígido que os sistemas de eixos simultâneos, sendo por isso aconselhado em operações de desbaste com velocidades de corte elevadas (e consequente acabamento em sistemas de eixos contínuos). Outra vantagem destes sistemas é a sua maior facilidade de programação, não só por apenas posicionar a peça e durante a operação de corte o sistema funcionar como uma máquina de 3 eixos, mas também pela maior facilidade em calcular e prever trajetórias de forma a evitar colisões entre a peça e a ferramenta. [23]



*Figura 50 - Sistema de Eixos de translação e rotação*

É de referir ainda que para além das máquinas de 5 eixos construídas com esse propósito, como a da Figura 51 (dir), existem mesas rotativas equipadas com os eixos A e B, semelhante à da Figura 51, que podem converter um centro de maquinagem de 3 eixos num de 5 eixos. Esta alternativa é bastante interessante em situações onde a fabricação de peças necessita de um centro de maquinagem de 5 eixos, mas tem pouca expressão e não justifica o investimento num centro de maquinagem dedicado. As mesas rotativas amovíveis, para além de serem mais baratas, proporcionam uma maior flexibilidade produtiva e são, em conjunto com a programação do tipo 3+2 eixos, uma boa forma de um utilizador de 3 eixos convencionais fazer a transição e adaptar-se aos sistemas de maquinagem de 5 eixos contínuos.



*Figura 51 – Mesa de 5 eixos adaptada a um centro vertical (esq) centro de maquinagem vertical e 5 eixos*

## 3.2. Torno

O torno CNC é uma máquina-ferramenta utilizada para a obtenção de peças de revolução, permitindo a execução de superfícies cilíndricas, cónicas, boleadas e abertura de roscas ou hélices. [8] Os tornos, como a

possuem usualmente dois eixos de translação e um de rotação (árvore), é no entanto possível a existência de tornos com 3 ou mais eixos de translação e mais de que uma árvore de rotação.

Existem dois tipos de tornos: os horizontais e os verticais. Os elementos principais de um torno CNC com uma árvore estão representados na Figura 52, no entanto existem tornos com mais do que uma árvore de rotação e torreta.



*Figura 52 - Elementos constituintes de um torno CNC*

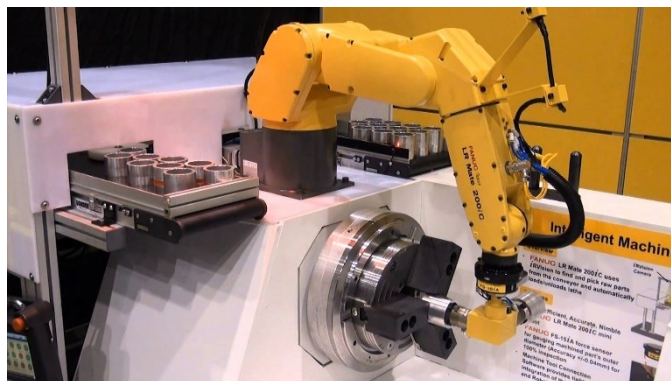
Os tornos horizontais são os mais utilizados na indústria e possuem uma elevada flexibilidade, os tornos verticais são usados não só em aplicações em que as peças a executar são de elevadas dimensões e peso, mas também na produção de peças em série. Estes tornos além de uma melhor acessibilidade em casos onde as peças necessitam de ser manuseadas com o auxílio de equipamentos de elevação, permitem uma maior estabilidade pois a peça não se encontra suspensa horizontalmente. Os problemas devido à deflexão da peça causada pela força gravítica são assim eliminados. Em sistemas de produção em série, os tornos verticais também apresentam vantagens devido à possibilidade de trabalharem em células de fabrico com várias máquinas a trabalhar em simultâneo, ligadas entre si através de tapetes transportadores. A Figura 53 apresenta uma célula de fabrico onde cada torno realiza apenas uma operação, sendo depois a peça transportada até às máquinas seguintes de forma a realizar as restantes operações. [24]



*Figura 53 - Célula de fabrico com torno vertical*



O torno CNC horizontal normalmente é composto pela árvore onde está acoplada a bucha, o carrossel de ferramentas e o contraponto. A bucha para além dos vários tipos existentes (ver secção Dispositivos de fixação em torneamento), pode ser mecânica ou hidráulica. A bucha hidráulica tem como vantagens, uma menor exigência física ao operador durante o aperto da peça (a bucha é operada através de pedais, ou na consola), e a possibilidade de automatizar completamente todo o processo, sendo a abertura e o fecho da bucha comandado pela consola e o carregamento das peças realizado por um robô. A Figura 54 mostra um exemplo de um torno com carregamento automático de peças através de um robô.



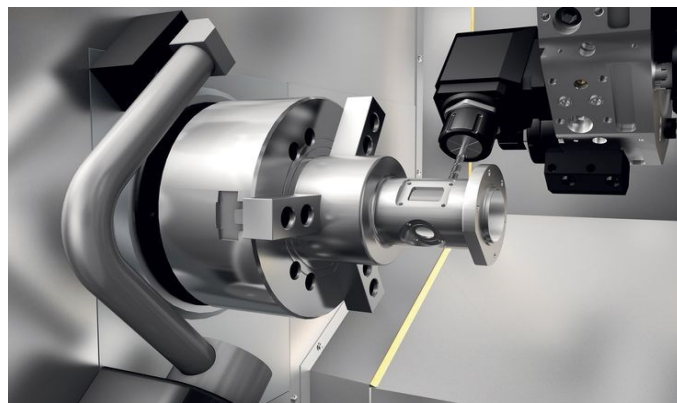
*Figura 54 - Exemplo de um torno com carregamento automatizado*

### **3.2.1. Ferramentas Motorizadas**

Este tipo de tecnologia, equipada normalmente como opcional em tornos CNC de 2 eixos, permite aumentar a flexibilidade e a variedade de peças possíveis de serem produzidas num torno sem o recurso a centros de maquinação para a realização de operações secundárias, pois são capazes de realizar operações de fresagem e furação, não só axialmente como radialmente.

Estas máquinas ferramenta diferem dos tornos CNC em dois aspetos: a árvore de rotação e o suporte da ferramenta. A árvore tem de ser convertida num eixo de rotação adicional (Eixo C), e devido à necessidade de garantir o correto posicionamento da peça, tem de ser capaz de indexar angularmente a peça e manter o seu posicionamento. A indexação do eixo C pode ser realizada substituindo a árvore de rotação tradicional e todos os seus componentes de transmissão por um servomotor diretamente acoplado à bucha. Outra opção mais económica é manter a árvore de rotação tradicional, mas com um servomotor de menores dimensões acoplado à árvore durante as operações de indexação. Este servomotor em conjunto com um travão, garantem o correto posicionamento do eixo C durante as operações de fresagem/furação. A outra grande característica deste tipo de máquinas são as ferramentas motorizadas e a capacidade de movimentar a torreta segundo o eixo Y. Estas ferramentas necessitam de suportes específicos que podem ter ou não redutores e que são acionados através da torreta. É possível também, em algumas aplicações mais ligeiras, o uso de turbinas a ar comprimido para realizar o acionamento das ferramentas. A Figura 55 mostra um exemplo de um torno com ferramentas motorizadas, assim como uma peça que este tipo de máquina ferramenta é capaz de produzir. [25]





*Figura 55 - Torno com ferramentas motorizadas*

### **3.2.2. Árvore Dupla**

Os tornos com árvore dupla, são tornos, onde em detrimento do contraponto existem duas buchas localizadas frente a frente. A árvore principal é normalmente a árvore responsável pela execução da maioria do trabalho. Apesar de existirem tornos onde ambas as árvores possuem as mesmas características, é comum a árvore secundária possuir características inferiores à da árvore principal.

A existência da bucha secundária permite eliminar a necessidade de operações secundárias de torneamento de forma ao torneamento da face, onde estava a ser realizado o aperto da peça à bucha. Estas máquinas podem possuir apenas uma torreta com ferramentas montadas em ambos os lados, conseguindo apenas trabalhar com uma árvore de cada vez. Existem também máquinas com duas ou mais torretas que trabalham em simultâneo. No caso de existir mais de duas torretas, é possível executar simultaneamente mais do que uma operação na mesma peça (por ex.: desbaste e acabamento).

A grande vantagem do uso de tornos com dupla árvore prende-se não só com a possibilidade de obtenção de peças completamente acabadas sem a necessidade do operador reapertar as peças, baixando assim os tempos de preparação e manuseio das peças, mas também pela elevada consistência de produção que este tipo de máquinas é capaz de fornecer. Este tipo de máquinas é especialmente interessante quando possuem não só dupla torreta, mas também ferramentas motorizadas, tornando-as muito semelhantes aos centros multitarefa.[26]

### **3.2.3. Tipo Suíço**

Os tornos do tipo suíço são tornos especialmente desenhados para a execução de peças com diâmetros reduzidos (até 32mm), comprimentos elevados e tolerâncias bastante exigentes.

Como mostra a Figura 56, a disposição das ferramentas neste tipo de torno é bastante diferente. As ferramentas estão colocadas lado a lado em várias torretas. A grande diferença neste tipo de torno é o movimento em Z que é realizado pela bucha que desloca a peça em direção à ferramenta. Neste tipo de torno é frequente existirem mais de 7 eixos a controlar, número esse que pode aumentar para mais do dobro caso o torno possuía árvore dupla e/ou ferramentas motorizadas.

A grande desvantagem deste tipo de máquina é a elevada complexidade de programação devido ao elevado número de eixos movimentar. [27] [28]

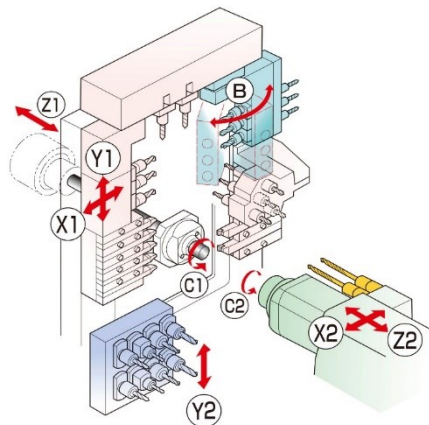


Figura 56 - Esquema de eixos de um torno do tipo suíço

### 3.3. Máquinas Multitarefa

As máquinas multitarefa são máquinas extremamente flexíveis e capazes de realizar uma grande diversidade de tarefas (fresagem, torneamento, furação, roscagem, etc), com elevada precisão e reduzido tempo de ciclo comparativamente com centros de maquinagem convencionais. Estas máquinas possuem capacidade de pelos menos 5 eixos, sendo comum a existência de 1 ou mais eixos secundários usados em buchas ou árvores secundárias.

Dentro das máquinas multitarefas existem as verticais e as horizontais - Figura 57. A diferença entre estes dois tipos de máquinas reside na orientação predefinida dos eixos e da disposição e forma de aperto da peça. As máquinas verticais têm um aspeto semelhante às máquinas de 5 eixos e em operações de torneamento o eixo C gira de forma a poder-se fazer o torneamento. As máquinas horizontais são semelhantes aos tornos, possuindo pelo menos uma bucha e uma árvore móvel. É frequente a existência de buchas secundárias nas máquinas horizontais, permitindo a transferência automática peça entre buchas, e assim a maquinagem de todas as faces da peça num só ciclo produtivo da máquina.

A grande vantagem destas máquinas é a capacidade de reduzir os tempos de manuseamento das peças em etapas intermédias, assim como os erros associados com os reapertos e a soma dos erros intrínsecos das várias máquinas que podem ser usadas na obtenção de uma peça com formas complexas. É mesmo possível, no caso das máquinas horizontais com árvore secundária, a obtenção da peça final maquinada em todas as faces sem que seja necessário o manuseamento da peça semi-acabada. Por último estas máquinas ao conjugar em si

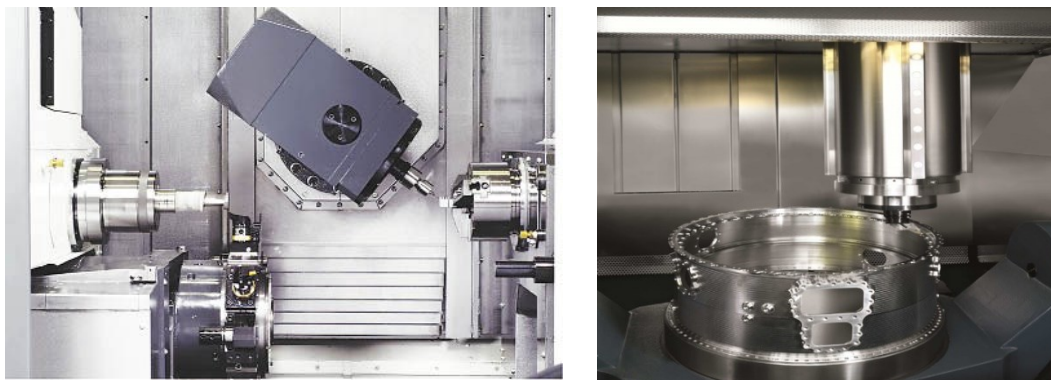


Figura 57 - Máquina Multitarefa horizontal com duas buchas (esq.) e máquina multitarefa vertical (dir.)

várias operações, que de outra forma teriam de ser realizadas em várias máquinas distintas, conseguem libertar área no chão de fábrica.

### 3.4. Sistemas CAD/CAM

O desenho assistido por computador (CAD) tem como principal objetivo a criação de modelos tridimensionais de objetos. Estes sistemas, para além de desenhar, permitem o estudo e a verificação de conceitos ainda durante a conceção do componente.

O fabrico assistido por computador (CAM) é uma ferramenta usada de forma integrada com os sistemas CAD para a criação de instruções detalhadas (código G). Estes programas permitem a criação de instruções, que as máquinas CNC interpretam de forma a produzir peças de elevada complexidade, tendo como base o modelo 3D criado pelo programa CAD. [29]

#### 3.4.1. Programação Conversacional

A programação conversacional é uma forma de programação através da consola da máquina ferramenta. Este tipo de programação permite a realização da programação de geometrias bidimensionais simples com alguma facilidade e sem necessidade do operador conhecer código G. Durante a programação, o operador escolhe o tipo de operação a realizar dentro de uma lista pré-definida de geometrias oferecidas pelo controlador (furos, furação ao longo de arcos, caixas, contorno, entre outros) e introduz os dados requeridos pelo controlador para a completa definição da geometria e parâmetros de corte.

As desvantagens deste tipo de programação é a limitação à programação de geometrias simples (na sua grande maioria bidimensional), à possibilidade de uma interpretação errada do desenho de definição da peça por parte do operador, e uma vez que a programação pode ser realizada quando a máquina se encontra a realizar outra peça, o pressionamento de um botão errado pode danificar a peça que se encontra em execução. No entanto, em peças simples este tipo de programação é vantajoso pois não necessita de um programa CAM, com respetiva licença de utilização e programador CAM, nem de operador que conheça linguagem G, permitindo assim que o operador realize peças simples de um modo autónomo.

A Figura 58 é um exemplo de uma interface de um controlador para a programação em modo conversacional de uma peça cilíndrica num torno.

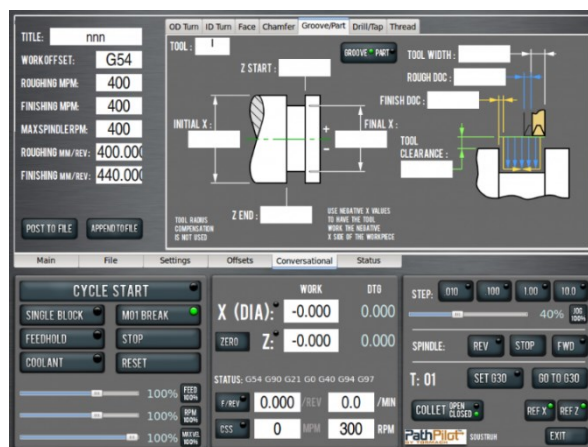


Figura 58 - Programação de uma peça cilíndrica em modo conversacional

### 3.4.2. Programação com programas CAM

Os sistemas CAM, são aplicações informáticas que permitem a programação das operações de fabrico de peças, tendo como base o seu modelo tridimensional. Com o aparecimento destes sistemas a realização de peças com geometrias mais complexas tornou-se mais simples, não só porque é o programa que se encarrega de gerar todo o código, como permite a simulação das trajetórias da ferramenta em ambiente virtual.

Atualmente, devido à grande diversidade de máquinas CNC e operações por ela realizadas (fresagem, torneamento, erosão, retificação, entre outras), é comum os programas CAM serem divididos em módulos. A divisão em módulos tem como objetivo principal a redução do custo de aquisição do programa, sendo possível apenas a aquisição de alguns módulos. Nos módulos relativos à fresagem e ao torneamento ocorre ainda a subdivisão destes módulos tendo em conta o tipo de geometrias que cada um é capaz de programar (bidimensionais ou tridimensionais), sendo comum a existência dos seguintes módulos: fresagem bidimensional, fresagem tridimensional, fresagem 3+2 eixos (5 eixos posicionais), fresagem 5 contínuos, torneamento bidimensional, torneamento com fresagem, fresagem/torneamento a alta velocidade, entre outros.

Além dos módulos para a definição das trajetórias das ferramentas também existem outros módulos que podem fazer parte do programa, ou ser mesmo outro programa independente, que realiza a simulação de todo o processo. Estes módulos têm em conta a trajetória da ferramenta, o bruto, a ferramenta, e em alguns casos os sistemas de fixação quer da ferramenta quer do bruto, assim como toda a estrutura da máquina CNC. Estes sistemas, como o da Figura 59, permitem numa fase ainda inicial, verificar não só o processo de maquinagem, mas também verificar e otimizar as forças de corte entre outros parâmetros, e validar os programas CAM de forma a evitar problemas futuros durante a fase de execução do programa.

Recentemente tem-se ainda observado uma maior integração dos programas CAD com os programas CAM, seja através da integração de módulos CAM nos programas CAD, seja através da criação de linguagens computacionais que são capazes de armazenar num só ficheiro todos os dados relativos ao desenho, análise e estratégias de maquinagem. Estes avanços permitem que pequenos ajustes no desenho do componente, não resulte numa reprogramação de todo o componente, pois estes programas são capazes de detetar as modificações e assinala-las, sendo apenas necessário reprogramar essas zonas que sofreram alterações.

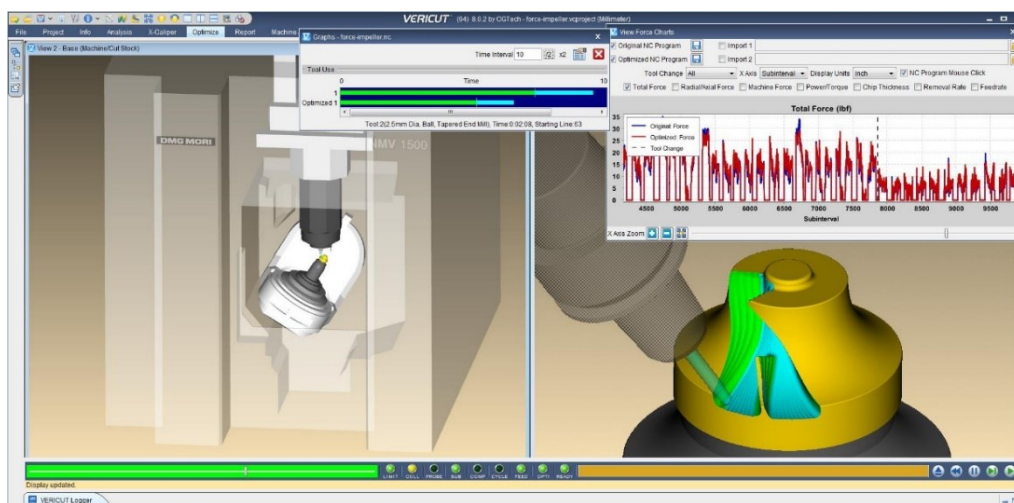


Figura 59 - Programa de simulação CAM - Vericut

## 4. Meios de fabricação e controle
















Após a produção de uma peça, esta deve cumprir o desenho de definição que especifica a precisão dimensional e geométrica a atingir. O processo de medição de qualquer peça, é sempre fixado pela forma como foi realizada a cotação da peça no desenho de definição.

A primeira etapa na realização de um correto processo de medição é a separação de todas as características topológicas (distâncias, orientações e localização) das características superficiais (formas, ondulação e rugosidade). Seguidamente deve-se proceder à seleção dos aparelhos de medição mais adequados à verificação de cada uma dessas características. Esta seleção deve ter em conta os seguintes fatores. [11]

- Tipo de característica a medir;
- Tolerância da característica a medir;
- Geometria da peça e acessibilidade à característica a medir;
- Acessibilidade aos elementos de referência;
- Número de peças a medir;
- Existência e disponibilidade dos aparelhos de medição
- Local onde será realizada a medição (linha de produção ou laboratório de metrologia)
- Formação de quem utiliza os aparelhos
- Necessidade ou não, de registar os resultados (fins estatísticos ou exigência do cliente)

A Tabela 13 reúne algumas das características geométricas que devem ser controladas.

Tabela 13 - Algumas características geométricas sujeitas a medição [11]

Tipo de característica geométrica	Símbolo	Elemento tolerenciado	Elemento Referência	Parâmetro da zona toleranciada
Características de forma				
Retitude		Linha	Sem	Distância entre 2 retas ou 2 planos, Ø de um círculo ou cilindro
Planeza		Plano	Sem	Distância entre 2 planos paralelos
Circularidade		Linha	Sem	Distância entre 2 círculos concêntricos
Cilindricidade		Cilindro	Sem	Distância entre 2 cilindros coaxiais
Perfil de uma linha qualquer		Linha	Sem ou orientação e posição	Distância euclidiana entre 2 linhas
Perfil de uma superfície qualquer		Superfície	Sem ou orientação e posição	Distância euclidiana entre 2 superfícies
Características de orientação				
Paralelismo		Linha superfície	Orientação	Ø de um cilindro, distância entre 2 retas ou 2 planos
Perpendicularidade				
Inclinação				
Características de posição				
Localização		Ponto, linha, superfície	Orientação e posição	Ø de um círculo, distância entre 2 retas ou 2 planos
Concentricidade		Ponto	Posição	Ø de um círculo
Coaxialidade		Linha	Orientação e posição	Ø de um círculo
Simetria		Linha, superfície	Orientação e posição	Distância entre 2 retas ou 2 planos
Características de batimento				
Batimento Simples		linha	Orientação e posição	Distância entre 2 linhas
Batimento Total		superfície	Orientação e posição	Distância entre 2 superfícies

## 4.1. Meios de controlo

### 4.1.1. Aparelhos de medição manual

Os aparelhos de medição mais utilizados, tanto em ambiente industrial como em ambiente laboratorial, são os de utilização manual com leitura direta sobre o aparelho. Normalmente estes aparelhos possuem diversas configurações, permitindo a sua adaptação à medição de várias características. São exemplos deste tipo de aparelhos os paquímetros, micrómetros, comparadores, entre outros.

## Paquímetro

O paquímetro é o dispositivo mais utilizado no fabrico mecânico pela sua versatilidade e facilidade de utilização. O paquímetro permite medir dimensões externas, interiores e profundidades. A resolução de medição varia entre os 0,1 e os 0,02mm. A Figura 60 apresenta alguns dos tipos de paquímetros mais comuns; atualmente os paquímetros digitais são mais utilizados devido à maior facilidade de visualização.

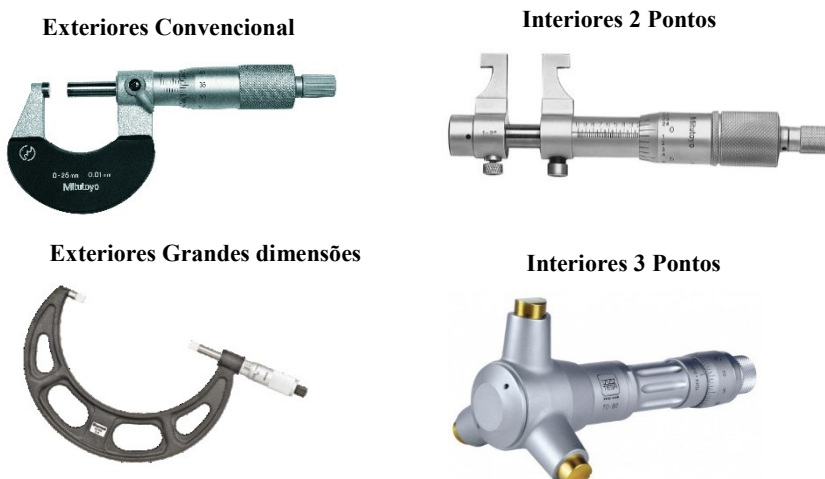


*Figura 60 - Exemplos de diferentes tipos de paquímetros*

## Micrómetro

Este dispositivo de medição também possui uma elevada expressão na construção mecânica para medições com resolução máxima compreendida entre os 0,01mm e os 0,001mm. A resolução do micrómetro depende do passo do fuso e do número de divisões que o tambor possui (normalmente 50 ou 100). De forma a garantir um correto aperto da peça durante a medição, o micrómetro possui um limitador de binário na sua extremidade (catraca).

Tal como o paquímetro o micrómetro possui diferentes versões, variando o intervalo de dimensões possíveis de medir e o tipo de medição capaz de executar (interna ou externa). A Figura 61 mostra alguns dos tipos de micrómetros mais comuns.



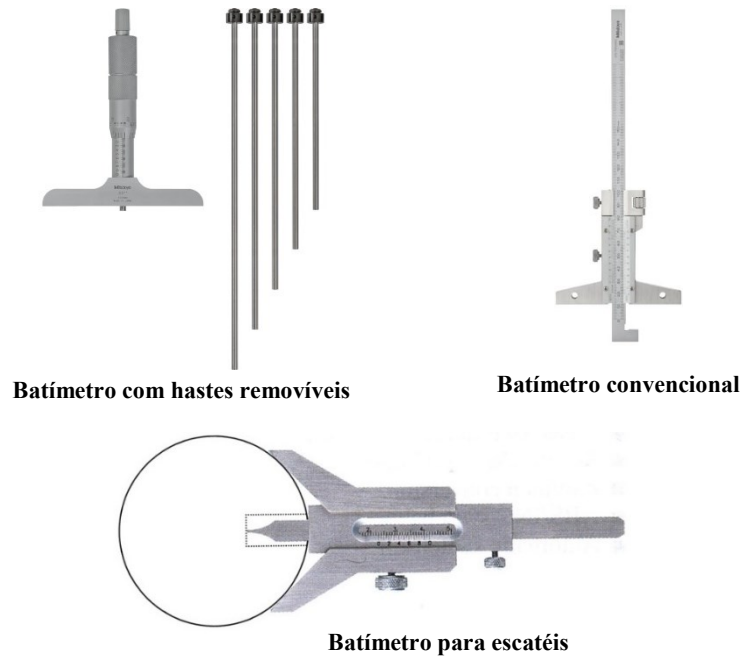
*Figura 61 - Alguns tipos de micrómetros*



## Batímetro

O batímetro é um equipamento de medição de profundidades. É constituído por uma parte fixa e por uma haste. A resolução deste equipamento varia muito, pois pode ter como base uma escala semelhante ao paquímetro ou uma escala semelhante ao micrómetro.

A Figura 62 mostra alguns tipos de batímetros: o convencional, o de hastes removíveis (cada haste possibilita a medição numa definida gama de profundidades) e o batímetro para a medição da profundidade de escatéis.



*Figura 62 - Alguns exemplos de batímetros*

## Suta

A suta é um dispositivo de medição de ângulos. A suta é constituída por duas réguas, uma solidária com a escala e outra com o cursor. De forma a realizar a medição com este equipamento, deve-se encostar as réguas às superfícies a medir, sendo que a medida é realizada diretamente na escalada principal em graus e na escala auxiliar (nónio) em minutos.

A resolução da suta depende da natureza do nóvio, caso o nóvio possua 24 posições, a suta tem uma resolução de 5 minutos de grau. Para além da versão equipada com o nóvio, a suta existe também com mostrador digital.



*Figura 63 - Suta convencional (esq) e digital (dir)*



### Régua de senos

A régua de senos é um instrumento usado na medição de ângulos com uma resolução de segundos ( $0,01^\circ$ ). Este equipamento é constituído por uma barra de aço temperado e retificado em conjunto com dois cilindros que se encaixam em rasgos específicos nas extremidades da barra. A inclinação da régua é dada através de blocos calibrados, que elevam uma das extremidades. A Figura 64 (esq) mostra o princípio de funcionamento da régua de senos, assim como a relação trigonométrica para o cálculo da inclinação da barra.

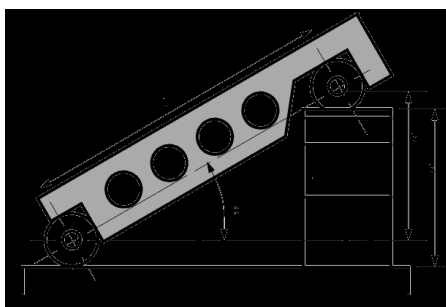


Figura 64 - Régua de senos

### Comparador

Os comparadores são instrumentos de medição indireta. A sua principal função é a medição de características geométricas e dimensionais por medição diferencial. [11] O uso destes equipamentos está sempre dependente do estabelecimento de um padrão, sobre o qual será efetuada a medição base. O padrão pode ser um bloco padrão, uma zona da peça sobre a qual se deve medir o desvio relativo a outras zonas especificadas.

Os comparadores estão normalmente disponíveis em dois tipos: de agulha (Figura 65(esq.)) ou de cardan (Figura 65 (dir.)). Os comparadores de agulha possuem uma resolução de  $0,01\text{mm}$  e são os mais versáteis, bastante usados acoplados a uma base magnética, para verificações durante a produção, nomeadamente a montagem das ferramentas nas máquinas e a fixação de peça (por exemplo a verificação da concentricidade de uma peça revolução durante o aperto na bucha do torno). Os comparadores de cardan (Figura 65 (centro)) são normalmente usados em meio laboratorial em conjunto com uma base fixa e um plano de granito. Estes comparadores são capazes de resoluções de  $1\mu\text{m}$ .

Existem também comparadores acoplados a hastes específicas, como o da Figura 65 (dir.), que servem para a medição de desvios em furos. Nestes equipamentos é estabelecida uma referência com um bloco padrão ou com um micrómetro. Após o estabelecimento da referência, a haste de medição é introduzida no furo de forma a realizar a comparação da dimensão do furo ao longo da sua profundidade, com a medida de referência.



Figura 65 - Alguns tipos de comparadores

### Graminho

O graminho é um instrumento de medição que pode ser usado também como riscador, caso seja montada uma ponta de riscar em metal na extremidade da sua haste. Enquanto equipamento de medição pode ser usado para a medição de alturas ou paralelismo de superfícies. A Figura 66 mostra alguns exemplos de graminhos, que podem ser do tipo convencional, de relógio ou digital.



*Figura 66 - Graminho Convencional (esq), de relógio (centro) e digital (dir)*

#### **4.1.2. Aparelhos de medição automática**

Em casos onde é necessária a medição de características mais complexas ou com tolerâncias inferiores às possíveis medir com os aparelhos manuais é comum o recurso a aparelhos semi-automáticos e automáticos capazes de resoluções até 50nm, assim como o registo dos valores obtidos durante a medição. [29] Apesar de muitos destes aparelhos possuírem sistemas para a compensação das condições atmosféricas, devem ser colocados em locais climaticamente controlados. Devido à sua maior complexidade, a sua operação requer operadores com formação específica em metrologia.

### Rugosímetro

O rugosímetro é o equipamento que permite a medição da rugosidade de uma superfície. Este equipamento possui uma agulha que quando se faz mover sobre uma superfície, regista o seu perfil. Para além



*Figura 67 - Rugosímetro de bancada (esq.) e portátil (dir)*

de rugosímetros de bancada, como o da Figura 67 (esq), que realizam a medição de forma automática, existem equipamentos portáteis mais compactos que permitem realizar medições sem que seja necessária a deslocação da peça até ao laboratório metrológico. Estes equipamentos portáteis são especialmente úteis quando é necessário inspecionar peça de grandes dimensões e difíceis de movimentar.

### Coluna vertical de medição

A coluna vertical de medição é um aparelho bastante semelhante ao graminho, mas que permite acionamento automático, registo de medições, ligação ao computador e rotinas de medição automática. Este equipamento para além de realizar medidas unidimensionais (alturas, larguras, entre outras), permite a realização de medidas bidimensionais (círculos, ângulos, entre outras). A Figura 68 mostra uma coluna de medição vertical com uma consola de comando integrada.



*Figura 68 - Coluna vertical de medição*

### Máquinas de medição por coordenadas

A máquina de medição por coordenadas pode ser considerada como a mais precisa de todos os equipamentos de medição. Estas máquinas podem ser manuais, como a da Figura 69 (esq), que possui um braço que é manipulado de forma a sonda contactar com a peça e guardar a coordenada do ponto para análise. Para além das máquinas de acionamento manual, existem as máquinas de acionamento automático. Estas máquinas podem ser programadas, de forma semelhante à de um centro de maquinação, com rotinas de medição específicas. Estas rotinas comparam os pontos obtidos experimentalmente com o modelo tridimensional da peça.

Estas máquinas realizam medições através do toque de um apalpador, ou através de um sistema de visão, ou com varrimento laser. Estes dois últimos métodos de medição são bastantes interessantes na medição de superfícies complexas, devido ao elevado número de pontos que são capazes de recolher num pequeno espaço de tempo. No entanto estes sistemas necessitam de ambientes com luminosidade controlada.

As CMM para além de algoritmos bastantes complexos de compensação térmica, possuem réguas lineares de baixo atrito, rolamentos pneumáticos e mesas de granito autonivelantes. Tudo isto resulta numa resolução que pode chegar aos  $0,05\mu\text{m}$ . [30]



*Figura 69 - Máquina de medição por coordenadas manual (esq) e automática (dir)*

### 4.1.3. Dispositivos de controlo dimensional

Por último existem situações onde não é necessário um controlo tão rigoroso das tolerâncias. Nestes casos é comum o uso de instrumentos que apenas permitem verificar se a característica está ou não em conformidade com o especificado. Neste tipo de instrumentos inserem-se os blocos padrão, calibres passa/não passa, escantilhão de roscas, entre outros.[11]

#### Blocos Padrão

Os blocos padrão são blocos de aço ou cerâmica, com um formato retangular ou quadrado e com um comprimento definido entre as faces de medição, como os da Figura 70. Estes blocos estão disponíveis numa elevada gama de medidas, permitindo a combinação de vários blocos para se conseguir a obtenção de medidas intermédias. Os blocos padrão estão disponíveis em várias classes consoante o seu erro, podendo ser subdivididos em 5 classes: 00, K, 0, 1 e 2. A classe 00 é a mais indicada para o uso em laboratório na calibração de outras classes, a classe 2 é a mais apropriada para a utilização geral. [11]

Os blocos cerâmicos, em relação aos metálicos, têm como vantagem uma maior resistência à corrosão e à abrasão (até 10x superior), maior dureza e imunidade ao magnetismo. [31]



Figura 70 - Blocos Padrão Metálicos (esq) e cerâmicos (dir)

#### Calibres

Os calibres são instrumentos de controlo dimensional amplamente usados em meios industriais devido à sua simplicidade de operação. Estes equipamentos não permitem medir, apenas permitem verificar se a peça está dentro de uma determinada tolerância. A Figura 71 mostra alguns exemplos de calibres “Passa/Não Passa” do tipo tampão (verificação de furos), calibres de boca (verificação de veios) e de roscas. Neste tipo de calibres, apenas uma das extremidades deve entrar na peça, sendo que a extremidade “Não Passa” não o deve fazer. Existem ainda calibres anelares, que possuem um furo tolerânciado, e que pode ser usada para a verificação de veios. Para verificações menos exigentes existem também escantilhões de roscas, escantilhões de raios, apalpa-folgas, fieiras, entre outros.



Figura 71 - Calibre Passa/Não passa

## 5. Casos de estudo

Os casos a seguir apresentados têm como objetivo mostrar o trabalho desenvolvido na empresa durante o período de estágio. Foram escolhidas três peças que representam os tipos de peças normalmente executadas na empresa: peças prismáticas, peças de revolução simples e peças cilíndricas com operações de torneamento e fresagem. Adicionalmente foi desenvolvida uma aplicação informática para controle e gestão de produção de peças.

Apesar dos casos de estudo terem sido realizados com vista à otimização do trabalho e processos, é importante lembrar que o conhecimento empírico dos colaboradores teve muita influência durante a execução destes casos de estudo. Uma vez que as peças executadas na empresa são de séries únicas ou de séries de pequena dimensão, torna-se por vezes mais importante garantir a fiabilidade do processo do que a sua rapidez de execução.

### 5.1. Caso de estudo 1 - Maquinagem prismática

Para a compreensão e desenvolvimento de uma gama de maquinagem de uma peça prismática foi selecionada a peça 0950CAC17 10 02 217 cujo desenho se encontra na Figura 72 e especifica a execução de uma peça em aço DIN 1.2311.

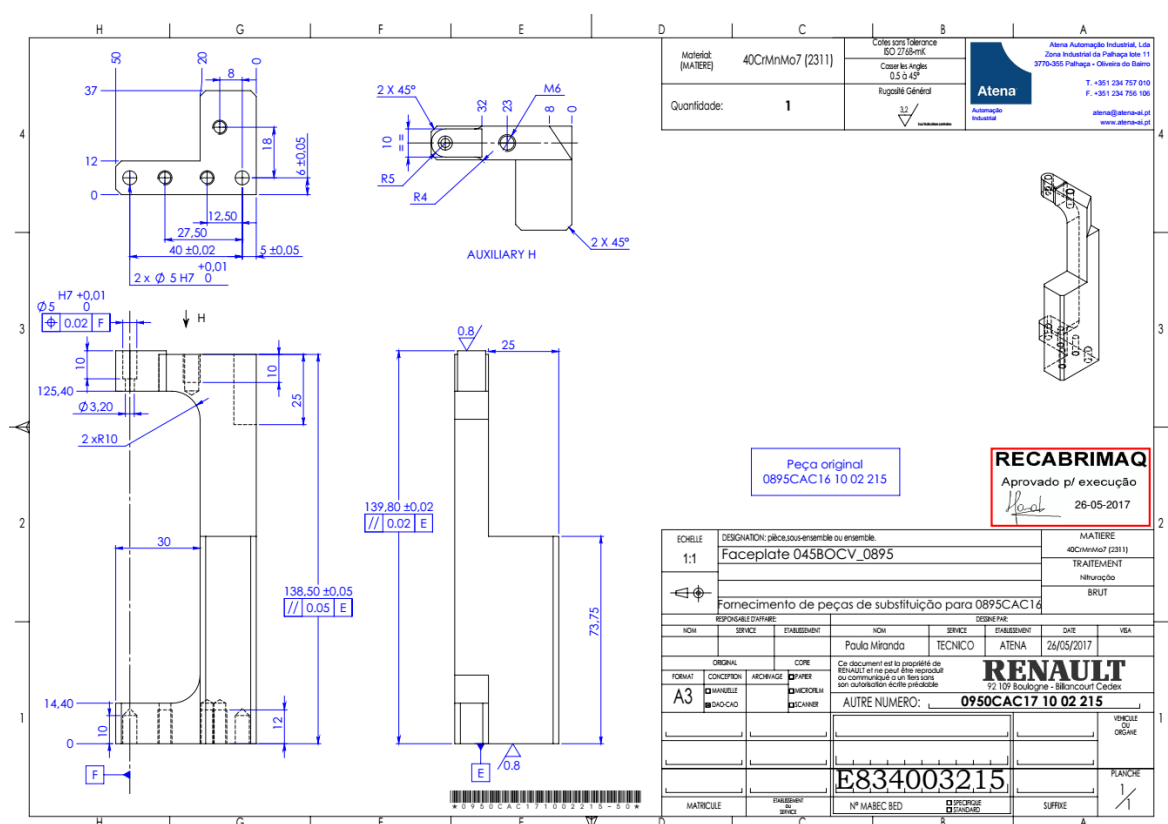


Figura 72 - Desenho de definição da peça 0950CAC17 10 02 215

Tendo em conta as características químicas e físicas presentes na Tabela 14 e a classificação de materiais do ponto de vista da sua maquinabilidade da Figura 4, este aço pertence ao grupo P3 – Aços de liga e Aços ferramenta.

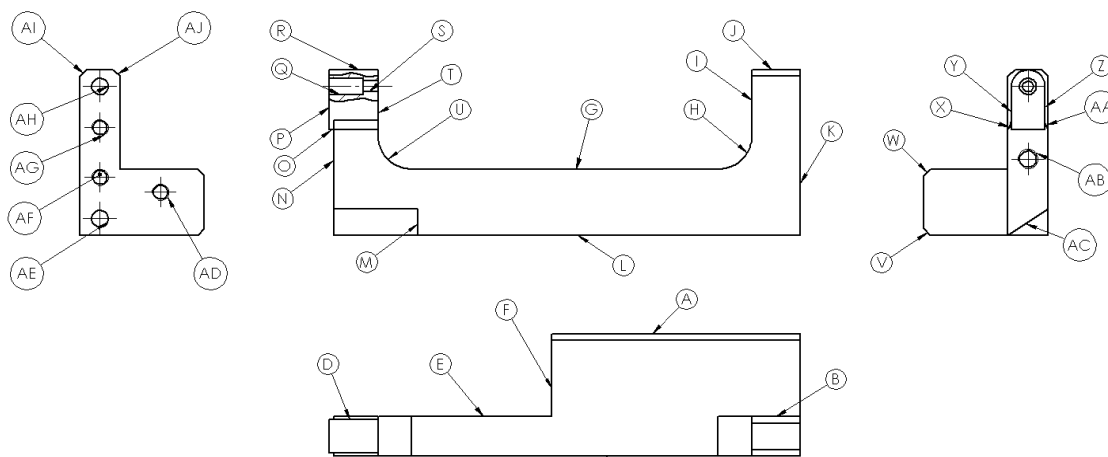
*Tabela 14 - Especificações do Aço DIN 1.2311*

Composição Química (%)	C	Cr	Mn	Mo	Si	P
	0,371	1,890	1,395	0,189	0,310	0,011
Dureza (condição de entrega)	300 HB					
Tensão de rotura	900 - 1000 N/mm <sup>2</sup>					

### 5.1.1. Sequência de maquinagem

Após a análise do desenho de definição, segue-se a definição do bruto. A peça tem as seguintes dimensões exteriores: 139,80x50x37 e tendo em contas a e a Tabela 10 o bruto a usar para a realização desta peça terá 145x55x42, que equivale a uma sobre-espessura de 2,5mm em todas as faces.

A próxima tarefa a realizar é a divisão da peça em superfícies elementares de forma a ser possível a caracterização das tarefas a realizar. A identificação destas superfícies encontra-se na Figura 73, tendo sido atribuída uma letra a cada superfície elemental da peça.



*Figura 73 - Identificação das superfícies elementares - Caso 1*

A máquina escolhida para a execução desta peça é o centro de maquinação vertical de 3 eixos *Haas VF2-SS*. Nesta máquina serão realizadas todas as operações de fresagem, furação e mandrilagem. Apenas a roscagem não será realizada nesta máquina, mas sim na máquina de roscar pneumática *Roscmat 200*. A opção da realização das roscas numa outra máquina permite que o centro de maquinação esteja disponível mais cedo para a realização de outras tarefas.

A sequência de maquinagem definida para execução desta peça encontra-se no Anexo V e apresenta 6 fases. A maquinagem será dividida em 4 fases a realizar no centro de maquinação e duas fases a realizar na bancada de roscar com a máquina de roscar pneumática.

### 5.1.2. Cadeia de cotas

Após a definição da sequência de maquinagem da peça, torna-se pertinente uma análise mais cuidada do desenho de definição tendo em conta não só os processos escolhidos para a realização da peça, mas também a cotação funcional. Esta análise tem como propósito perceber se existem cadeias de cotas funcionais que necessitem de ser transferidas para cotas de fabrico.

Após a análise do desenho de definição, apenas foi realizada a transferência das cotas referentes à localização dos furos AD, AE, AF, AG, e AH, como mostra a Figura 74. Para o cálculo da transferência de cotas, para além das tolerâncias presentes no desenho, foi também tomado em consideração a norma ISO 2768-mK para a correta definição de cotas sem tolerância especificada diretamente no desenho de definição.

O desenho com a cotação de fabrico encontra-se no Anexo VI. É de referir que para além da transferência da cadeia de cotas acima descrita, foi ainda adicionada uma nova vista da peça em corte com o objetivo de simplificar a leitura do desenho por parte do operador.

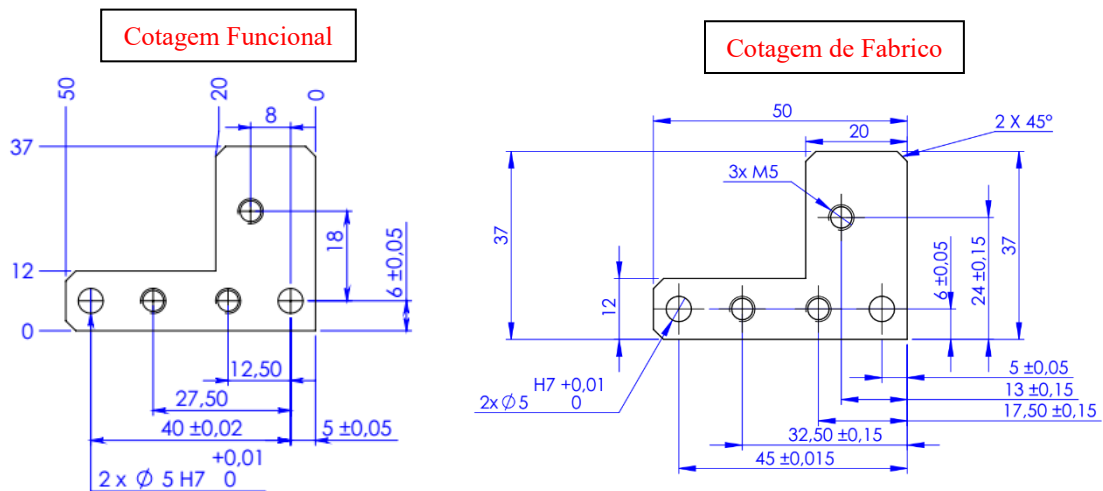


Figura 74 - Detalhe da cotação funcional - Caso de estudo 1

### 5.1.3. Fichas de Fase

A próxima etapa no processo de preparação do dossier técnico para a execução de uma peça, é a definição das fichas de fase relativas a cada uma das fases necessárias para a produção da peça.

Tendo em conta a sequência de maquinagem anteriormente definida, as ferramentas e os dispositivos de fixação disponíveis na empresa, foram realizadas as seis fichas de fase que documentam todo o processo produtivo desta peça. As fichas de fase encontram-se no Anexo VII. De seguida serão apresentadas algumas considerações que foram tidas em conta durante a preparação de cada uma das fichas de fase.

#### Fase 10

A primeira fase inicia-se com o facejamento da peça em bruto e posterior desbaste e acabamento de todo o perfil da peça. A escolha de iniciar a maquinagem com a peça colocada horizontalmente prende-se não só com a necessidade de garantir uma boa estabilidade da fixação durante as operações de desbaste (a peça encontra-se fixa aos mordentes rígidos da prensa ao longo de 3mm de material), mas também com a necessidade da criação de superfícies de referência para se poder efetuar corretamente os zeros peça nas

próximas fases. Outro ponto a ter em consideração é a face K ser referências para as tolerâncias geométricas de paralelismo, nomeadamente entre as faces K,P e as K,N.

Nesta fase o zero peça será realizado ao centro da peça no plano definido pela superfície A. A decisão de localizar o zero peça nesse ponto deve-se ao bruto não apresentar as faces em esquadria. Desta forma, estes desvios podem ser absorvidos pela sobre-espessura do bruto.

#### **Fase 20**

Após o desbaste e o acabamento do perfil da peça na fase anterior, o material em excesso que foi usado para a fixação da peça, tem de ser removido e será também nesta fase que o acabamento da face L será realizado.

#### **Fase 30**

Nesta fase o zero peça será realizado no vértice formada pela interseção das faces C,K,L que já se encontram acabadas. Serão então realizadas as operações de furação, mandrilagem e o chanframento de AI e AJ.

#### **Fase 40**

Para esta fase, à semelhança da fase anterior, o zero peça será realizada na interseção das superfícies C e L com a P. Uma vez que todos os zeros peça para as operações de furação, que têm tolerâncias de posição, são realizadas sempre com as mesmas faces de referência o erro de posicionamento têm sempre a mesma origem.

Será realizada nesta fase para além das operações de furação, a fresagem do perfil formado pelas faces R,X,Y,Z e AA, assim como a da face AC. É expectável durante as operações de fresagem que a peça vibre devido ao elevado comprimento que a peça têm fora das prensas de aperto.

#### **Fase 50 e 60**

Nestas fases, serão realizadas as roscas M5 e M6 na bancada de roscar com a roscadora pneumática *Roscamat 200*. Nestas fases a fixação das peças será realizada numa prensa de aperto. Uma vez que estas fases serão realizadas manualmente, não existe necessidade de definição dos zeros peça para cada uma destas fases.

### **5.1.4. Programação**

Após a definição da sequência de maquinagem e das fichas de fases, o próximo passo antes de iniciar a produção da peça é a criação do código G a ser executado pelo centro de maquinagem nas fases 10, 20, 30 e 40.

A programação desta peça, à exceção da fase 20, onde será usado uma rotina memorizada no controlador da máquina, será realizada utilizando o software CAM *Mastercam X7*. A Tabela 15 apresenta as estratégias usadas em cada uma das operações. De todas as estratégias utilizadas, apenas a primeira (*Surface High Speed Dynamic Opti Rough*) é uma estratégia de maquinagem 3D; todas as outras são estratégias bidimensionais. Esta estratégia tridimensional permite simplificar a etapa de desbaste uma vez que para a sua parametrização apenas é necessário seleccionar no programa CAM quais as superfícies a maquinar e a sobre-espessura pretendida para o acabamento destas faces nas fases seguintes.

Durante a realização do desbaste do perfil na primeira operação da fase 10, foi necessário limitar a zona a maquinar, criando uma zona protecção de maquinagem como se pode ver na Figura 76 (esq). Esta zona



foi criada para que essa zona fosse apenas maquinada posteriormente usando um desbaste em movimento trocoidal. O uso desta estratégia deveu-se ao comportamento errático que a estratégia de desbaste da operação 1 apresentava. Esta estratégia não mantinha o movimento de penetração constante como a Figura 76 (dir) mostra, este comportamento levaria à quebra da ferramenta nessa fase.

Após a programação CAM foi realizada a simulação de cada uma das fases. A Figura 75 mostra a simulação da maquinagem obtida para a fase 10. O tempo estimado pelo *software* CAM para a realização desta peça é de 27 minutos e 41 segundos.

Tabela 15 - Estratégias CAM usadas no Caso de Estudo 1

Fase	Op	Estratégia CAM	Descrição
10	1	<i>Surface High Speed Dynamic Opti Rough</i>	Estratégia de desbaste a alta velocidade 3D com toda a altura da lâmina de corte da ferramenta. Esta estratégia efetua o corte a Z constante, possuindo, no entanto, movimentos verticais bidirecionais. Efetua assim o primeiro desbaste à profundidade máxima definida ( <i>Stepdown</i> ) sendo depois esse desbaste refinado com incrementos em Z no sentido ascendente ( <i>Stepup</i> ).
	2	<i>2D High Speed Dynamic Peel Mill</i>	Estratégia de desbaste dinâmico com movimentos trocoidais e penetração lateral constante. Esta estratégia é aconselhada na abertura de canais e rasgos. Durante os movimentos de posicionamento dentro do rasgo/canal faz uma micro-elevação da ferramenta relativamente à peça para evitar o contacto com a peça.
	3 e 4	<i>2D Contour Chanfer</i>	Estratégia de chanframento ao longo de um contorno 2D, sendo apenas necessário introduzir a largura do chanfro pretendido.
	5, 6 e 7	<i>2D Contour</i>	Estratégia 2D bastante simples onde a ferramenta percorre um percurso selecionada pelo programado. A penetração é feita através de mergulho da ferramenta. Possui a opção de <i>multipass</i> para que a ferramenta para além de percorrer o contorno selecionada percorra caminhos paralelos em <i>offset</i> ao contorno selecionado.
30	1	<i>Drill</i>	Estratégia de furação direta
	2	<i>Peck Drill</i>	Estratégia de furação com incrementos
	3	<i>Bore</i>	Estratégia de mandrilagem. Neste caso foi adicionada uma pausa de 1s na profundidade final do furo para garantir um correto acabamento do furo.
	4	<i>2D Contour</i>	-
40	1	<i>Drill</i>	-
	2e 3	<i>Peck Drill</i>	-
	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	<i>2D Contour</i>	-

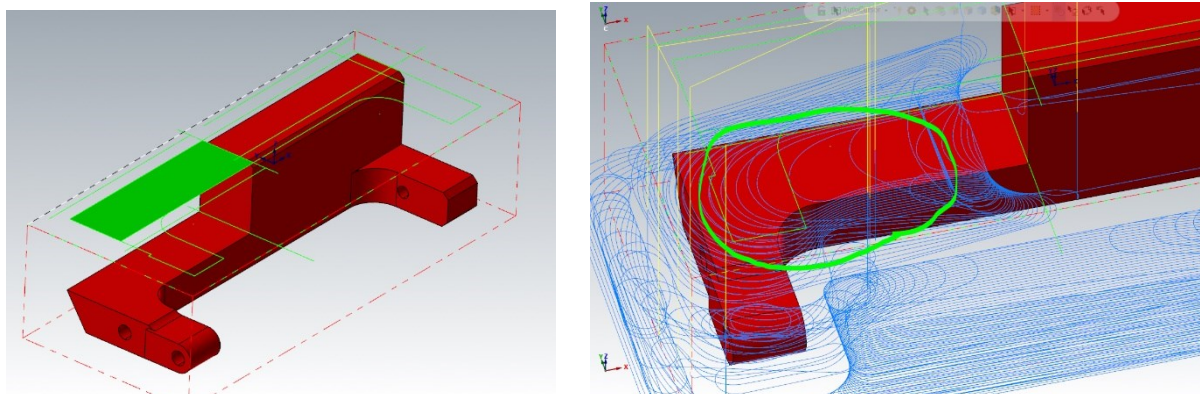


Figura 76 – Zona de proteção de maquinagem(esq) Penetração radial excessiva Optirough (dir)– Caso 1

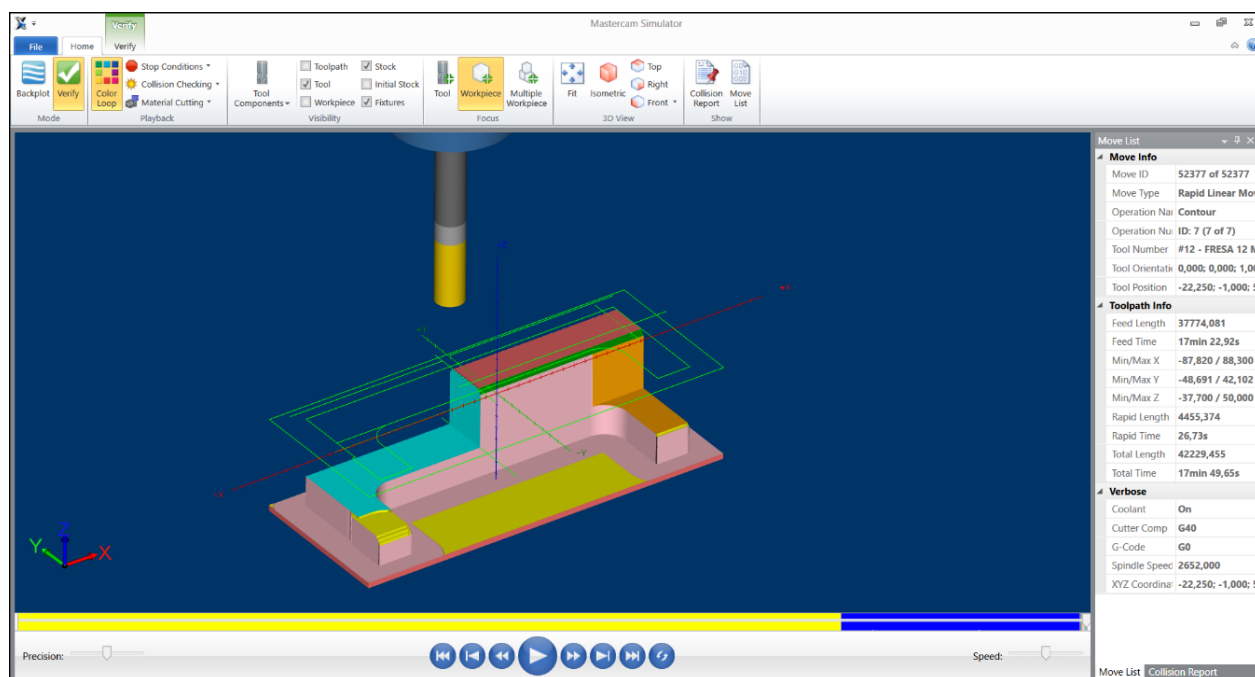


Figura 75 - Simulação da Fase 10 - Caso de Estudo 1

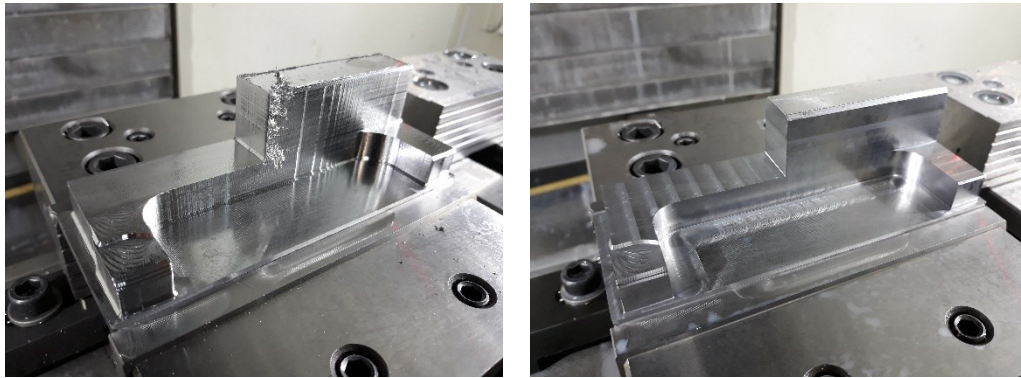
### 5.1.5. Maquinagem

Após todos os passos de preparação para a maquinagem da peça foi iniciado o processo de produção, o qual será descrito seguidamente apresentando algumas observações decorrentes da produção da peça.

#### Fase 10

A operação nº1 foi realizada com o recurso a uma rotina gravada na memória do controlador da máquina, que apenas é usada para opções de facejamento. Nessa rotina são introduzidos os parâmetros de corte, as dimensões da área a facejar, a penetração por passagem, a altura inicial da peça e a final.

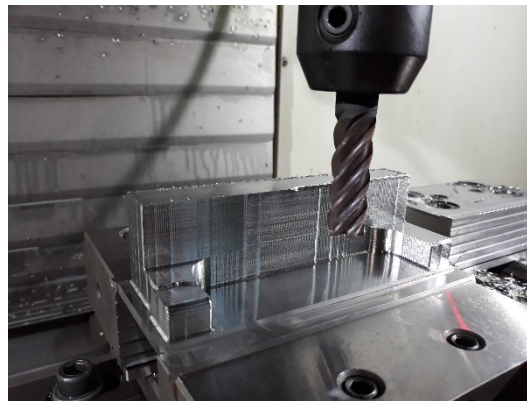
Os desbastes foram realizados a seco, usando apenas ar comprimido. A Figura 77 (esq.) mostra a peça após os desbastes e a Figura 77 (dir.) mostra a peça após as operações de acabamento desta fase. Na Figura 78 é possível observar que a ferramenta apresenta já algumas marcas de desgaste ao longo da aresta de corte, proveniente da sua utilização na realização de outras peças, que apesar de não apresentar nenhum problema



*Figura 77 – Peça antes das operações de acabamento (esq) e após as operações de acabamento (dir)*

durante a maquinagem (vibração e ruído) resulta numa baixa qualidade superficial após o desbaste que foi resolvida com as operações de acabamento.

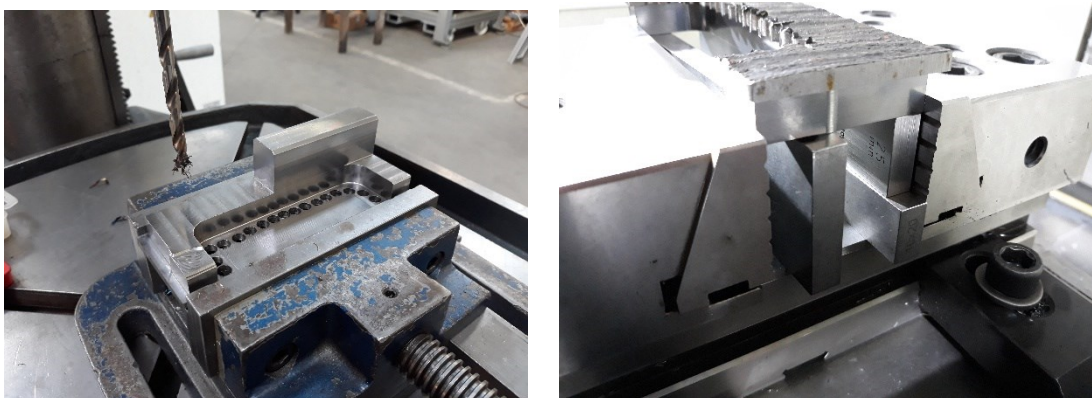
A operação nº6 foi realizada duas vezes, pois após a primeira passagem, a cota Cfl não cumpria a tolerância. Após a medição, o valor do *offset* da ferramenta na tabela de *offsets* do controlador foi corrigido e a cota Cfl foi verificada novamente após a segunda passagem.



*Figura 78 - Pormenor do desgaste da ferramenta usada para os desbastes da Fase 10*

## **Fase 20**

Nesta fase, devido à elevada quantidade de material que era necessário remover e à elevada possibilidade do material da zona que não está apoiada se soltar e ser projetado causando estragos, decidiu-se levar a peça até à coluna de furar e realizar uma série de furos, como se pode ver na Figura 79, sendo posteriormente removido com uma rebarbadora.



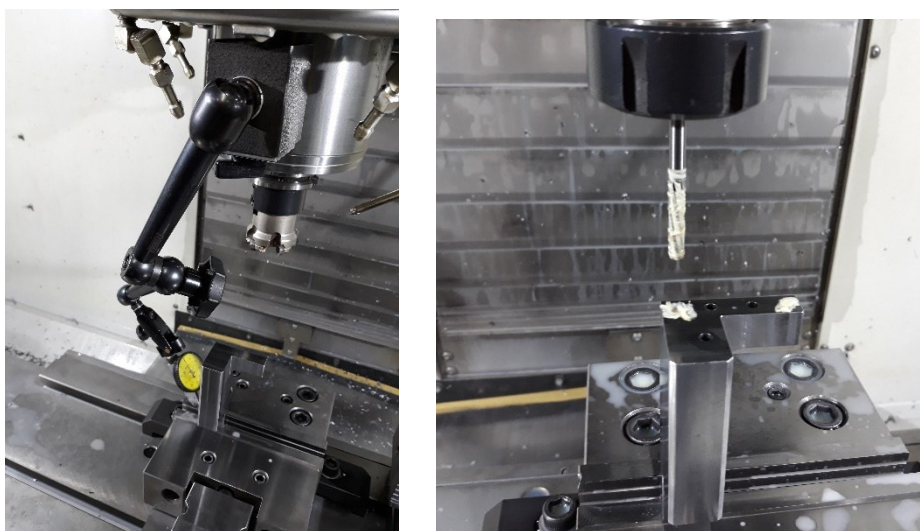
*Figura 79 - Preparação da peça para a Fase 20*

Após o trabalho manual, a peça foi colocada nas prensas de aperto, usando calços calibrados para apoiar corretamente a face E, permitindo assim uma correta fixação da peça.

### **Fase 30**

Nesta fase devido à necessidade de garantir a tolerância de paralelismo entre as faces K e N, a peça foi apoiada na base da prensa de aperto, pela face N. Após a colocação da peça nas prensas, com a ajuda do comparador, como se pode ver na Figura 80 (esq) foi verificada e ajustada a perpendicularidade da face C com o eixo vertical Z. Esta verificação tem como propósito confirmar o correto posicionamento da peça, de forma a garantir o paralelismo entre as faces especificadas no desenho de definição.

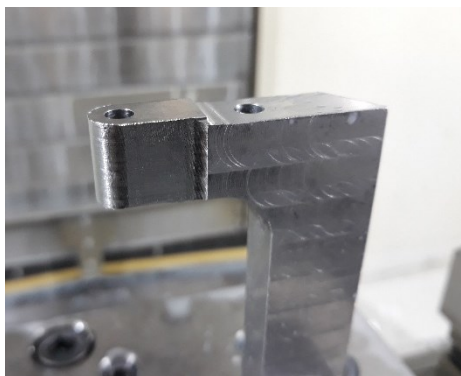
Na operação nº3, antes da execução da mandrilagem dos furos AE e AH, adicionou-se massa lubrificante nos furos e no mandril, como se vê na Figura 80 (dir) de forma a garantir o melhor acabamento dos furos possível.



*Figura 80 - Preparação da fase 30 (esq) Massa de lubrificação para mandrilagem (dir)*

### **Fase 40**

A fixação da peça nesta fase foi efetuada com o mesmo método utilizado anteriormente na fase 30. Nesta fase, nas operações nº4 e nº6, apesar de se ter tido em consideração a reduzida estabilidade que esta fixação apresenta na definição dos parâmetros de corte, foi observada alguma vibração. Na operação nº6 foi mesmo necessário reduzir o avanço em 50% do inicialmente especificado. Mesmo assim não se evitou que o acabamento superficial obtido nestas operações fosse de baixa qualidade, como se pode ver na Figura 81.



*Figura 81 - Pormenor do acabamento da operação nº6*

### Fase 50 e 60

Nestas fases, a roscagem foi realizada manualmente na máquina de roscar pneumática, como foi anteriormente planeado. Foi, no entanto, necessário quebrar algumas arestas com um *dremmel* pneumático.

A Tabela 16 apresenta os tempos de corte e preparação necessários para cada uma das operações de cada uma das fases de produção desta peça.

*Tabela 16 – Registo de tempos de execução - Caso de estudo 1*

Fase	Op	T <sub>prep</sub> (mm:ss)	T <sub>corte</sub> (mm:ss)
10	1	01:30	03:50
	2	01:00	07:33
	3	-	03:02
	4	00:30	0:30
	5	-	1:12
	6	06:00	09:00
	7	-	01:38
	8	-	01:25
20	1	04:40	07:00
	2	-	00:50
30	1	04:02	00:22
	2	-	00:30
	3	00:15	00:36
	4	-	02:27
40	1	03:30	00:16
	2	00:10	00:20
	3	-	00:18
	4	-	02:08
	5	-	00:40
	6	01:00	02:28
	7	-	01:34
	8	-	01:03
	9	-	01:55
	10	01:00	01:00
50	1	01:00	01:30
60	1	01:00	0:30
Total		25:37	53:37



### 5.1.6. Resultados do controlo metrológico

Tendo sido concluída a etapa de maquinagem da peça, tornou-se necessário efetuar o controlo metrológico da peça. Esta etapa de controlo destina-se a verificar se a peça realizada cumpre a cotagem

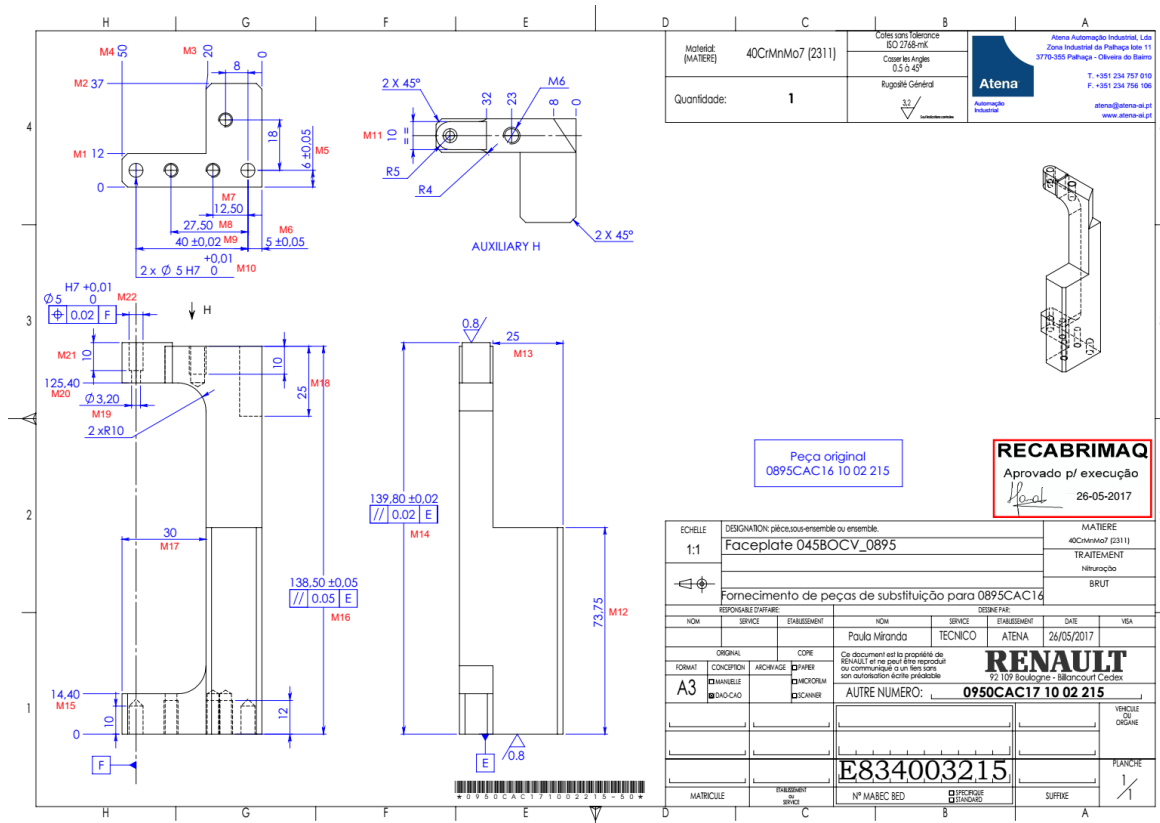


Figura 82 - Medidas a controlar - Caso de Estudo 1

especificada no desenho de definição. Na Figura 82 estão representadas e numeradas todas as cotas a verificar nesta fase.

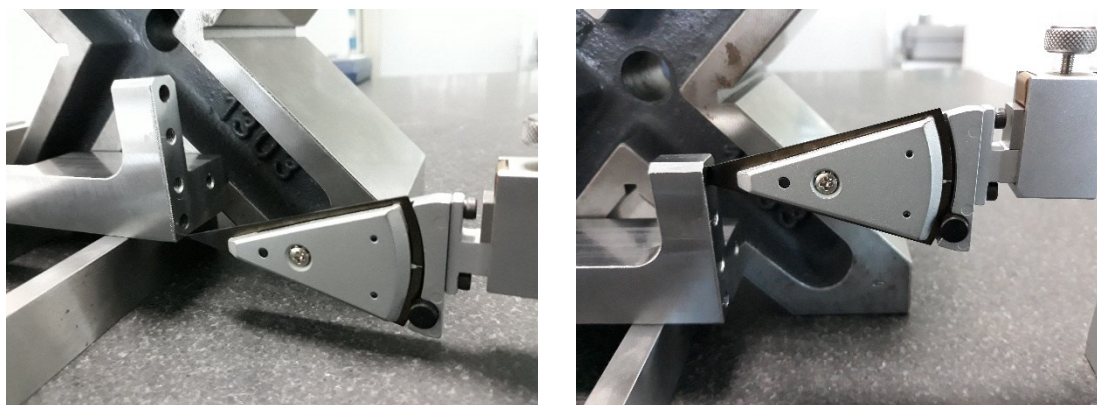
A verificação das cotas de paralelismo foi realizada, como mostra a Figura 83 (esq), recorrendo a um comparador de cardan (resolução de 1 µm) acoplado a um graminho digital (a ponta de medição foi substituída por um adaptador para o comparador) e um plano de granito. A verificação das tolerâncias de localização foi



Figura 83 - Montagens utilizadas para a verificação de paralelismo (esq) e localização (dir) - Caso 1

realizada como mostra a Figura 83 (dir), com plano de granito, um bloco padrão X, calços calibrados, e um busca-centros acoplado a um graminho digital.

Devido às limitações de dispositivos de controle metrológico disponível na empresa, a verificação das tolerâncias de localização foi realizada com um graminho digital (resolução de 0,01mm). Idealmente este tipo de verificações deve ser efetuado com equipamentos mais precisos (como por exemplo uma coluna de medição vertical), aumentando assim a precisão da medição efetuada e diminuindo o possível erro do operador por efetuar as medições em modo automático. O processo de medição das tolerâncias de localização iniciou-se com a calibração do graminho, como se pode ver na Figura 84 (esq), usando o busca-centros com a ponta de medição encostada à face C da peça. O graminho foi zerado quando as duas referências do busca-centros se alinharam. Partindo dessa face, as restantes medições foram realizadas como se pode ver na Figura 84 (dir).

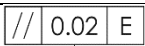
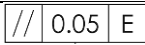
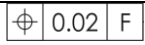


*Figura 84 - Calibração do graminho (esq) Medição da localização de um furo (dir)*

A Tabela 17 apresenta os resultados das medições efetuadas a cada uma das cotas, assim como as tolerâncias dos equipamentos utilizados. As cotas M10 e M22 (furos 5H7) foram verificadas usando um veio calibrado de Ø5mm.

Após o controle metrológico, a peça foi considerada conforme, no entanto a rugosidade especificada para as superfícies K e P apenas foi avaliada qualitativamente pois na empresa não existe nenhum equipamento de medição de rugosidade. No que concerne à medição da localização dos furos, apesar dos valores obtidos estarem dentro da tolerância especificada, o erro do equipamento é da mesma ordem de grandeza das medições realizadas o que cria incerteza na medição efetuada.

Tabela 17 - Verificação dimensional - Caso 1

Ref	Medida Nominal	Tolerância		Verificado	Tolerância do equipamento
		Min	Max		
M1	12	11,90	12,10	12,02	±0,01
M2	37	36,70	37,30	37,05	±0,01
M3	20	19,80	20,20	20,00	±0,01
M4	50	49,70	50,30	49,98	±0,01
M5	6	5,95	6,05	6,03	±0,01
M6	5	4,95	5,05	5,00	±0,01
M7	12,50	12,30	12,70	12,49	±0,01
M8	27,50	27,30	27,70	27,48	±0,01
M9	40	39,98	40,02	39,99	±0,01
M10	5H7	5,00	5,01	OK	-
M11	10	9,80	10,20	10,05	±0,01
M12	73,75	73,45	74,05	73,74	±0,01
M13	25	24,80	25,20	25,03	±0,01
M14	139,80	139,78	139,82	139,810	±0,005
		0	0,02	0,008	±0,0005
M15	14,40	14,20	14,60	14,40	±0,01
M16	138,50	138,45	138,55	138,505	±0,005
		0	0,05	0,011	±0,0005
M17	30	29,80	30,20	29,95	±0,01
M18	25	24,80	25,20	25,03	±0,01
M19	Ø3,20	3,10	3,30	3,16	±0,01
M20	125,40	124,90	125,90	125,45	±0,01
M21	10	9,80	10,20	10,02	±0,01
M22	5H7	5,00	5,01	OK	-
		0	0,02	0,02	±0,01

### 5.1.7. Discussão

Após a análise da Tabela 16 é possível verificar que o tempo de corte foi quase o dobro ao inicialmente previsto pelo *software* CAM. Esta diferença de valores, deve-se à adição do tempo necessário para as operações de facejamento das Fases 10 e 20 que foram programadas manualmente. Outra razão para o resultado foi a necessidade de executar mais do que uma vez algumas operações de acabamento de forma a que as tolerâncias especificadas no desenho de definição fossem respeitadas. É de notar ainda, que durante o desbaste do perfil da peça na operação nº2 da fase 10, a máquina apresentou alguns bloqueios durante os movimentos rápidos de posicionamento entre movimentos de corte. Este problema deveu-se à utilização de uma velocidade de



posicionamento entre cortes (*backfeedrate*) muito elevada (12 500 mm/min). Em trajetos curtos, e tendo em consideração aceleração característica dos eixos, estes não atingem velocidade programada.

Durante o processo de maquinagem, e para a produção de apenas uma peça, foram usados muitas vezes blocos calibrados nos apertos da peça às prensas de aperto. Esta opção de fixação, apesar de ser bastante flexível, nas fases 30 e 40 não garantiu a rigidez necessária para que não aparecesse vibração durante a maquinagem. Uma forma de diminuir o problema seria o uso de dispositivos de aperto que garantissem uma maior área de contacto com a peça, ou caso se usasse um centro de maquinação horizontal, a peça ser fixada através das suas faces mais longas, como na fase 20.

A empresa realiza peças únicas, ou pequenas séries, é comum que muitas vezes a *performance* do processo seja diminuída em detrimento da sua fiabilidade. Caso disso foi a opção, de na fase 20, extrair manualmente parte do material excedente, que podia durante o facejamento soltar-se e danificar tanto a máquina como a ferramenta de corte.

A Figura 85 apresenta a peça concluída.



Figura 85 - Peça final - Caso 1

## 5.2. Caso de estudo 2 - Maquinagem de uma peça de revolução simples

De forma a compreender as etapas necessárias para a maquinagem de uma peça simples de revolução, foi escolhida a peça com a referência 0950CAC17 02 02 117 cujo desenho se encontra na Figura 86. O desenho especifica a realização de uma peça em Aço EN X 153 CrMoV 12, geralmente conhecido como C265, que é um aço de trabalho a frio e geralmente usado em peças que se destinam a ser temperadas após maquinagem, como é o caso desta.

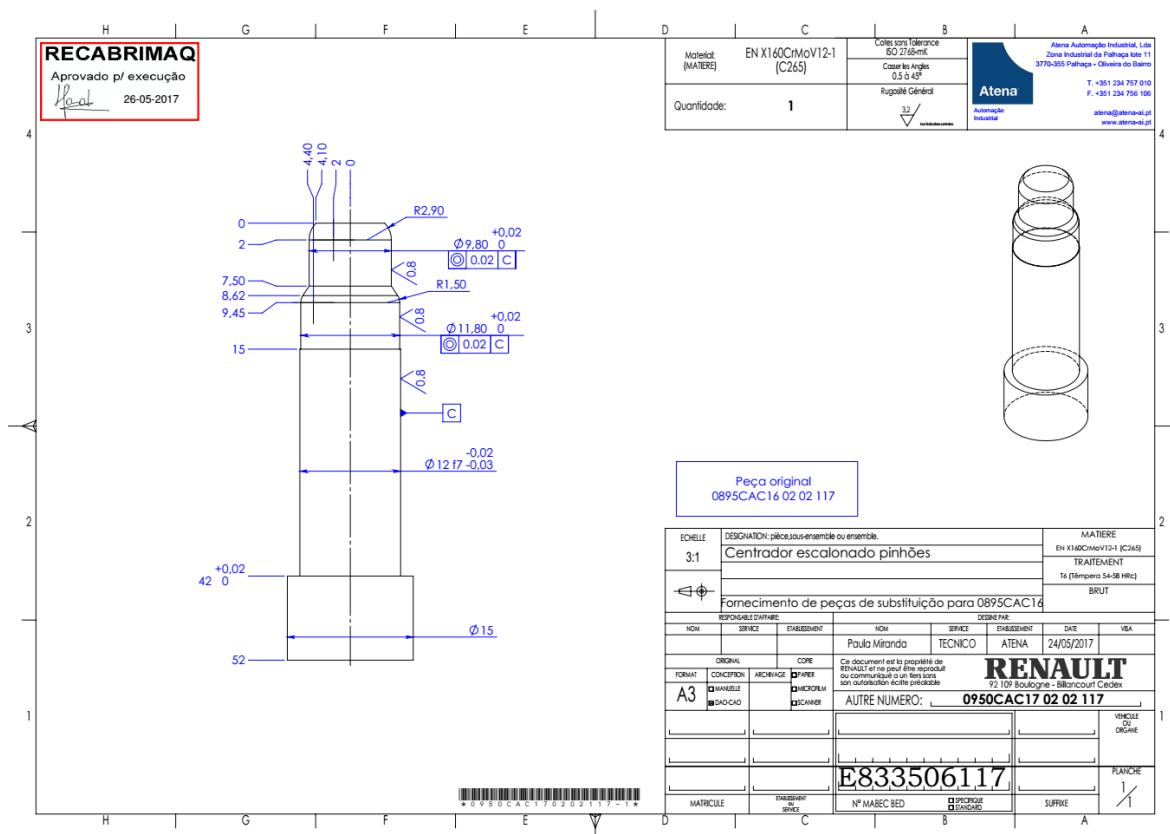


Figura 86 - Desenho de definição da peça 0950CAC17 02 02 117

O material em que esta peça será maquinada, tendo em conta a Tabela 18, pode ser classificado do ponto de vista de ferramentas utilizar como um Aço ligado de alto teor em carbono do grupo P3 (Figura 4).

Tabela 18 - Especificações do Aço EN: X 153 CrMoV 12 (C265) [32]

Composição Química (%)	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
	1,55	0,30	0,40	11,3	0,80	0,80
Dureza (condição de entrega)	210 HB					
Tensão de rotura	860 N/mm <sup>2</sup>					
Dureza máxima (após tratamento)	62 HRC					

### 5.2.1. Sequência de maquinagem

A primeira etapa de preparação do trabalho é o cálculo e definição do bruto. Segundo o desenho de definição, a peça tem as seguintes dimensões nominais:  $\varnothing 15 \times 52$ . Tendo em conta a Tabela 10 e a Tabela 11, o bruto deve ter um diâmetro de 17mm (cota nominal + sobre-espessura para desbaste em torneamento) e 56mm de comprimento. No entanto devido ao bruto ser um sub-produto (varão) e apenas ser fornecido em medidas standard, optou-se pelo uso de varão de 20mm de diâmetro.

O comprimento a usar também não será o anteriormente calculado, devido à necessidade do uso de um postigo para o contraponto, de forma a evitar a vibração da peça durante o seu torneamento, semelhante ao que aconteceu na peça da Figura 87, e de material suplementar para a correta fixação da peça à bucha do torno durante a operação de sangramento, como se pode observar na Figura 88 (dir). Para a fixação do bruto às 3 pinças da bucha são usados 10mm de material suplementar. Para o sangramento da peça serão necessários cerca de 3mm e para o apoio do contraponto, segundo [10] e atendendo ao diâmetro do bruto a usar são necessário no mínimo 7 mm de postigo, pelo que se optou pelo uso de um postigo semelhante ao da Figura 88 (esq). O bruto a usar deverá assim ter 75mm de comprimento



*Figura 87 - Exemplo de peça com mau acabamento superficial devido à vibração durante o torneamento*

Antes de definir a sequência é necessário a divisão e identificação de todas as superfícies elementares que constituem a peça a fabricar. Como está representado na Figura 89 a cada superfície foi atribuída uma letra de forma a identificá-la.

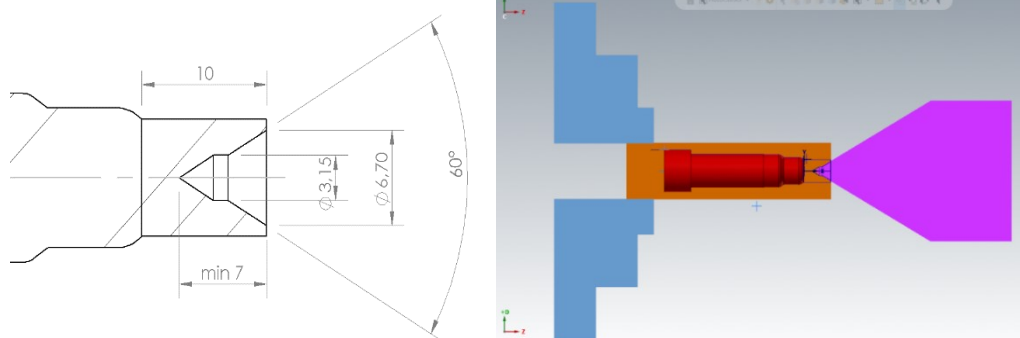


Figura 88 - Detalhe do postiço para o apoio do contraponto (esq) Esquema de aperto da peça no torno(dir)

Após a análise do desenho de definição, definição do bruto e identificação das superfícies elementares, segue-se a definição da sequência de maquinagem. A sequência de maquinagem irá definir o número de fases necessárias para a realização da peça e as operações a realizar em cada uma delas. Além disso será definido para cada fase os dispositivos de fixação, faces de aperto, faces a maquinar e ferramentas a usar. A sequência de maquinagem definida para esta peça encontra-se disponível no Anexo VIII. Para a execução desta peça serão necessárias 4 fases. A máquina a utilizar na produção desta peça será o torno CNC *Haas TL1* para as três primeiras fases, e o torno convencional para a fase 40. A escolha do torno CNC para as três primeiras fases prende-se com a execução das superfícies B, D e E que são superfícies complexas de realizar num torno convencional. O uso do torno convencional para a última fase deve-se à operação de faceamento ser relativamente simples e ao mesmo tempo poder libertar o torno CNC para a realização de outras peças.

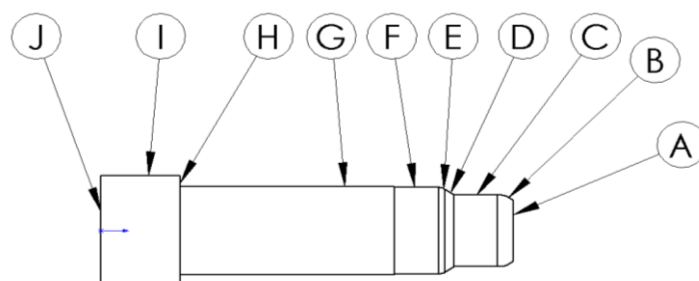


Figura 89 - Identificação das superfícies elementares - Caso de Estudo 2

### 5.2.2. Cadeia de cotas

De acordo com o desenho de definição da peça e da respetiva sequência de maquinagem anteriormente descrita, não será necessário o cálculo de cotas indiretas para a maquinagem desta peça. O zero peça, à exceção da fase 40, é o mesmo que o projetista definiu para a cotação funcional da mesma.

Tendo em conta o tratamento superficial (Têmpera) e a rugosidade superficial pretendida para esta peça, é necessário estudar se existe a necessidade de incluir uma etapa de retificação cilíndrica após a têmpera de forma a garantir as tolerâncias definidas, a concentricidade e o acabamento superficial. [10] Em peças que sejam temperadas, apenas é necessária retificação caso hajam superfícies com qualidade <IT6. Caso isso não se verifique o desbaste e acabamento dessas superfícies pode ser realizado na totalidade antes do tratamento

térmico. No entanto em peças em que a relação comprimento e diâmetro seja muito elevado, é necessário um estudo mais cuidado uma vez que probabilidade de empeno das peças após a têmpera é bastante elevado.

No caso da peça em estudo, o IT máximo que esta apresenta é IT7 (Anexo I) e a qualidade de acabamento é atingível em tornamento em produção cuidada (Anexo II). Neste caso não será necessário prever uma operação adicional de retificação após têmpera.

### **5.2.3. Ficha de fase**

Após a realização da sequência de maquinagem, todas as informações relevantes e necessárias à realização da peça serão detalhadas nas fichas de fase – Anexo X. Cada ficha de fase indicará a máquina, dispositivo de fixação, ferramentas de corte, ferramentas de medição, parâmetros de corte e a cotagem das características a realizar nessa fase.

#### **Fase nº 10**

A primeira fase a realizar é a fase 10. Em linha com o que foi apresentado anteriormente, nesta fase será realizado o postiço para o apoio do contraponto. Esta fase será realizada com o torno em modo manual com o operador a controlar os eixos através dos controlos dos eixos X, Z e avanço do porta-brocas, que nesta fase estará instalado no lugar do ponto, durante a operação de ponteamento. - Figura 90

#### **Fase nº 20**

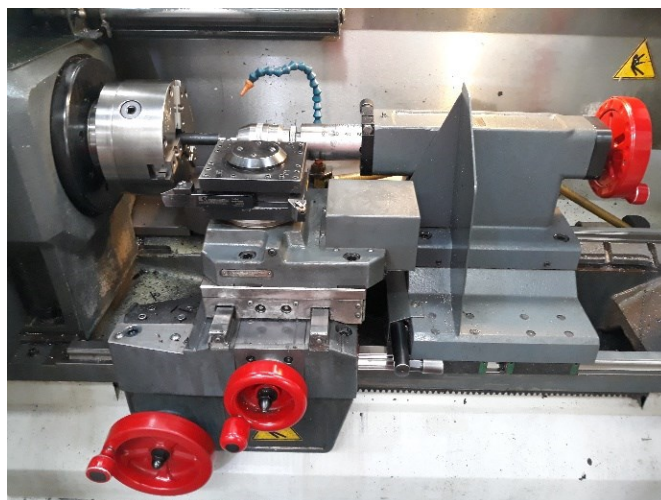
Após a realização do postiço de forma a poder adicionar um ponto de apoio, e desta forma aumentar a rigidez da fixação, introduz-se o ponto no contra ponto e são executados em modo automático os programas de desbaste e de acabamento do perfil da peça (superfícies B,C,D,E,F,G,H,I).

#### **Fase nº 30**

Nesta fase o ponto é retirado e o postiço é desbastado. Posteriormente a face A é facejada em acabamento e é realizada a verificação da cota Cf1. Após a verificação da cota Cf1, é realizando o sangramento da peça, deixando 0,10mm para acabamento da face J na próxima fase.

#### **Fase nº 40**

Última fase de fabrico onde é realizado o acabamento da superfície J no torno manual.



*Figura 90 - Comandos Manuais Haas TL1*

### 5.2.4. Programação

Para a execução desta peça, apenas na fase 30 será necessário programar o torno CNC pois todas as restantes fases foram executadas com o torno CNC em modo manual.

A programação do desbaste do perfil da peça e seu acabamento foi realizado de forma manual, tirando partido do ciclo de desbaste longitudinal (G71) e do ciclo de acabamento G70. Ambos os ciclos podem ser usados em torneamento exterior como em torneamento interior. Para definir uma operação de torneamento exterior, deve-se posicionar a ferramenta numa posição em X que seja maior do que o maior diâmetro da peça; caso se pretenda definir uma operação de torneamento interior, a ferramenta deve ser posicionada em X inferior ao menor diâmetro interior que a peça possui, tal como se pode ver na Figura 91.

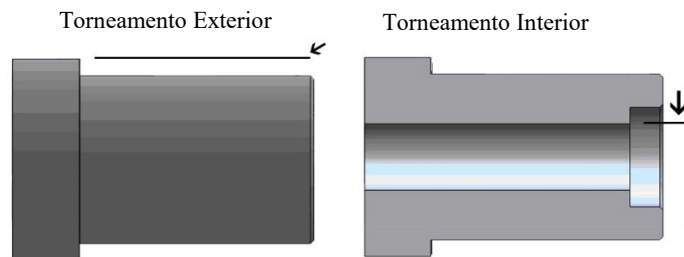


Figura 91 - Colocação ferramenta para os ciclos G70 e G71

Após o correto posicionamento da ferramenta introduz-se então o código correspondente ao ciclo pretendido, conforme a Tabela 19. No caso do ciclo de acabamento G70, para além do avanço e da velocidade de rotação apenas é necessário indicar o bloco onde começa a definição do contorno e o bloco onde acaba.

O código usado para a execução da fase 40 encontra-se no Anexo 0.

Tabela 19 – Variáveis do ciclo de torneamento G71

	Descrição da variável
<b>*D</b>	Penetração
<b>*F</b>	Velocidade de avanço [mm/rot]
<b>P</b>	Bloco onde inicia o contorno
<b>Q</b>	Bloco onde a definição do contorno termina
<b>*S</b>	Velocidade de rotação [rpm]
<b>*U</b>	Sobre-espessura a deixar no diâmetro para acabamento
<b>*W</b>	Sobre-espessura a deixar axialmente para acabamento




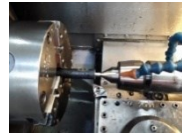
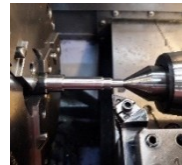
\* variável opcional

### 5.2.5. Maquinagem





O bruto de partida ao contrário do inicialmente previsto, foi um varão com cerca de 400mm de comprimento que estava em stock, sendo que após a etapa de sangramento da peça, o restante varão é armazenado para futuros trabalhos.

Seguidamente, na Tabela 20, irá ser detalhado cada operação realizada, assim como os tempos de preparação e os tempos de corte efetivo.

Tabela 20 - Descrição do processo de maquinação - Caso de estudo 2

Fase	Op	Observações		T <sub>Prep</sub> (mm:ss)	T <sub>Corte</sub> (mm:ss)
10	1	<p>A peça foi apertada na bucha com um comprimento suspenso de 30mm para a realização do postiço.</p> <p>De forma a garantir um correto facejamento, após realizar o zero peça através do toque da ferramenta na peça subtraiu-se 0,1mm a esse valor.</p> <p>Nesta etapa a cota Cf1 deveria ter 8,50mm (0,3mm de sobreespessura para acabamento) tendo sido verificado Cf1=8,60mm. Na tabela de <i>offsets</i> da ferramenta, de forma a corrigir estes desvios, subtraiu-se 0,05mm em X ao offset da ferramenta.</p>		00:30	00:48
	2	<p>Foi realizado o acabamento do contorno exterior do postiço.</p> <p>Esta operação uma vez que foi de acabamento retirou de uma só passagem 0,4mm em vez dos 0,3mm inicialmente programados.</p>		-	00:22
20	1	<p>A peça foi reposicionada na bucha, desta vez com cerca de 70mm em suspensão para permitir a montagem do contraponto e execução das restantes fases nesta máquina sem mais nenhum reaperto da bucha.</p> <p>A realização do furo de ponto foi executada manualmente, pois o contraponto apenas possui comandos manuais.</p>		00:58	00:40
30	1	<p>Realização do desbaste longitudinal com o ciclo de desbaste G71.</p> <p>Nesta fase foi deixado 0,3mm para o acabamento.</p>		01:55	01:05
	2	<p>Após o desbaste as cotas de Cf5 a Cf8 foram verificadas com o micrómetro. Teoricamente no início desta fase deveriam estar todas acima 0,3mm das cotas finais. No entanto foi medido o seguinte:</p> <p>Cf5=10,170; Cf6=12,150; Cf7=12,320; Cf8=15,300</p> <p>Das medidas efetuadas, é possível verificar que apesar de quase todas as cotas apresentarem valores superiores, as diferenças não são constantes. Sendo assim, e com a experiência acumulada do operador, no código alteraram-se os diâmetros teóricos para os seguintes:</p> <p>Cf5=9,74; Cf6=11,76; Cf7=11,95; Cf8=15,00</p> <p>Após a operação de acabamento foi realizado novamente o controlo das cotas funcionais tendo sido obtidos os seguintes valores:</p> <p>Cf5=9,815; Cf6=11,815; Cf7=11,975; Cf8=15,00</p>		5:20	00:25



40	1	O desbaste do postigo foi realizado em modo manual retirando 0,1mm ao comprimento em cada passagem. Foi deixado 0,1mm para realizar o controlo dimensional antes de realizar o acabamento.		2:56	00:53
	2	Após o controlo metrológico com micrómetro de profundidades foi realizada a passagem de acabamento também em modo manual.		-	00:20
	3	Realização do sangramento da peça, separando definitivamente a peça do varão em bruto. Como é possível ver na figura, após o sangramento ficou uma pequena porção de material por remover. Este material e os 0,1mm que foram deixados serão removidos na próxima fase durante a operação de acabamento.		00:30	00:50
50	1	Nesta fase usou-se o torno convencional para a realização da operação de acabamento da face J. Durante o aperto da peça e de forma a garantir um correto posicionamento na bucha, foi usado o comparador para centrar a peça. Nesta fase é de mencionar que o trabalho de centragem da peça é bastante delicado e bem mais moroso que a operação de acabamento em si.		03:16	01:26
				15:25	06:49

### 5.2.6. Resultados do controlo metrológico

O controlo metrológico da peça será realizado recorrendo aos instrumentos disponíveis na empresa. Para o controlo metrológico desta peça foi necessário o paquímetro, micrómetro de exteriores 0-25mm e 50-75mm, coluna de medição vertical, comparador e blocos em V. O controlo de rugosidade foi realizado de uma forma quantitativa pois não existe nenhum rugosímetro ou padrão de rugosidades para comparação visual.

De forma a verificar a concentricidade relativa à referência C, especificada pelo desenho técnico, usou-se a montagem visível na Figura 93. Nesta montagem foi usado um bloco em X e um comparador de cardan com a ponta de medição na superfície a controlar.

Tendo em conta Figura 92 e a identificação das principais cotas a verificar, a Tabela 21 apresenta as medidas verificadas no controlo dimensional da peça.

A medida M5 foi controlada usando duas medições indiretas, pois a coluna de medição digital apenas possui uma resolução máxima de 0,01mm. Sendo assim, usando o micrómetro de 0-25 e o micrómetro de 50-



75mm mediu-se o comprimento máximo da peça (52,100mm) e o comprimento da face cilíndrica com Ø15 (10,090mm) sendo o valor de M5 obtido após a subtração do valor da face de Ø15 ao comprimento total da peça.

Após a realização de todas as medições e uma inspeção qualitativa à rugosidade a peça foi considerada conforme.

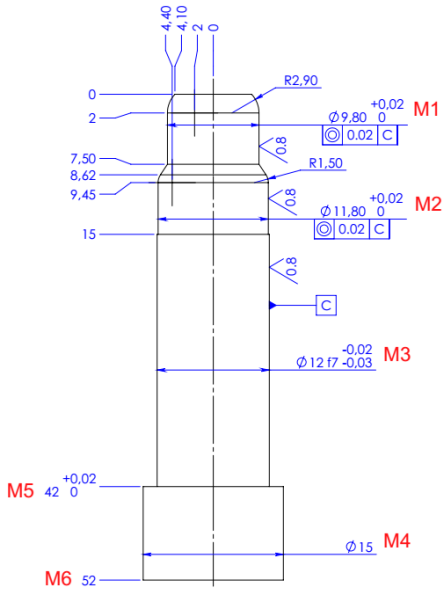


Figura 92 - Identificação de cotas a verificar - Caso 2



Figura 93 - Verificação da concentricidade

Tabela 21 - Verificação dimensional - Caso 2

Ref	Medida Nominal	Tolerância		Verificado	Erro
		Min	Max		
M1	$\phi 9.80$	9,800	9,820	9,810	$\pm 0,005$
	$\text{C} 0.02 \text{ C}$	0	0,02	0,011	$\pm 0,0005$
M2	$\phi 11.80$	11,800	11,820	11,810	$\pm 0,005$
	$\text{C} 0.02 \text{ C}$	-0,01	0,01	0,006	$\pm 0,0005$
M3	$\phi 12.00$	11,970	11,980	11,975	$\pm 0,005$
M4	$\phi 15.00$	14,800	15,200	14,990	$\pm 0,005$
M5	45,00	42,000	42,020	42,010	$\pm 0,005$
M6	52,00	51,700	52,300	52,100	$\pm 0,005$

### 5.2.7. Discussão

Durante a execução foram realizadas muitas etapas em modo manual. O uso do modo manual nesta peça prende-se com os seguintes motivos: peça única, eixos apenas com acionamento manual e aumento da sensibilidade do operador. A operação de furação teve de ser executada em modo manual pois o contraponto é manual. As operações da fase 40 foram realizadas em modo manual de forma ao operador conseguir ter uma

melhor percepção da maquinação. Este último ponto é bastante importante dado que nessa fase a peça encontrava-se com um apoio menos rígido e um desbaste demasiado pesado poderia provocar empenos na peça, pondo em causa as tolerâncias de concentricidade.

Como é possível ver na Figura 94 tanto na face A como na face J existe uma zona próxima do centro de revolução da peça que possui um acabamento visivelmente de menor qualidade. Esta diminuição de qualidade superficial à medida que o diâmetro maquinado diminui, deve-se à impossibilidade do torno conseguir atingir a rotação necessária para manter a velocidade de corte ao longo de toda a superfície.

Por último é de referir que o tempo de corte efetivo representa apenas cerca de 1/3 do tempo total necessário. O restante tempo foi utilizado em apertos, medições e verificações necessárias a garantir a obtenção de uma peça conforme. De referir ainda que toda a fase 40 podia ser executada em modo automático sendo no entanto necessário alguns testes, de modo a acertar os parâmetros de corte possíveis de usar sem comprometer a qualidade geral da peça.



*Figura 94 - Pormenor facejamento da peça final*

### 5.3. Caso de estudo 3 – Maquinagem de peça com operações de torneamento e fresagem

A peça 0950CAC17 10 02 214, cujo desenho de definição se encontra na Figura 95 é uma peça mista, com características de revolução e prismáticas. A realização da peça necessitará, portanto de dois tipos de máquina distintos, torno e fresadora. O desenho especifica a realização de apenas uma peça em *EN 34CrNiMo6* que após a sua realização será tratada superficialmente por meio de nitruração. O material em que esta peça será produzida é normalmente conhecido como Aço FR3<sup>1</sup> e cujas características principais estão na Tabela 22.

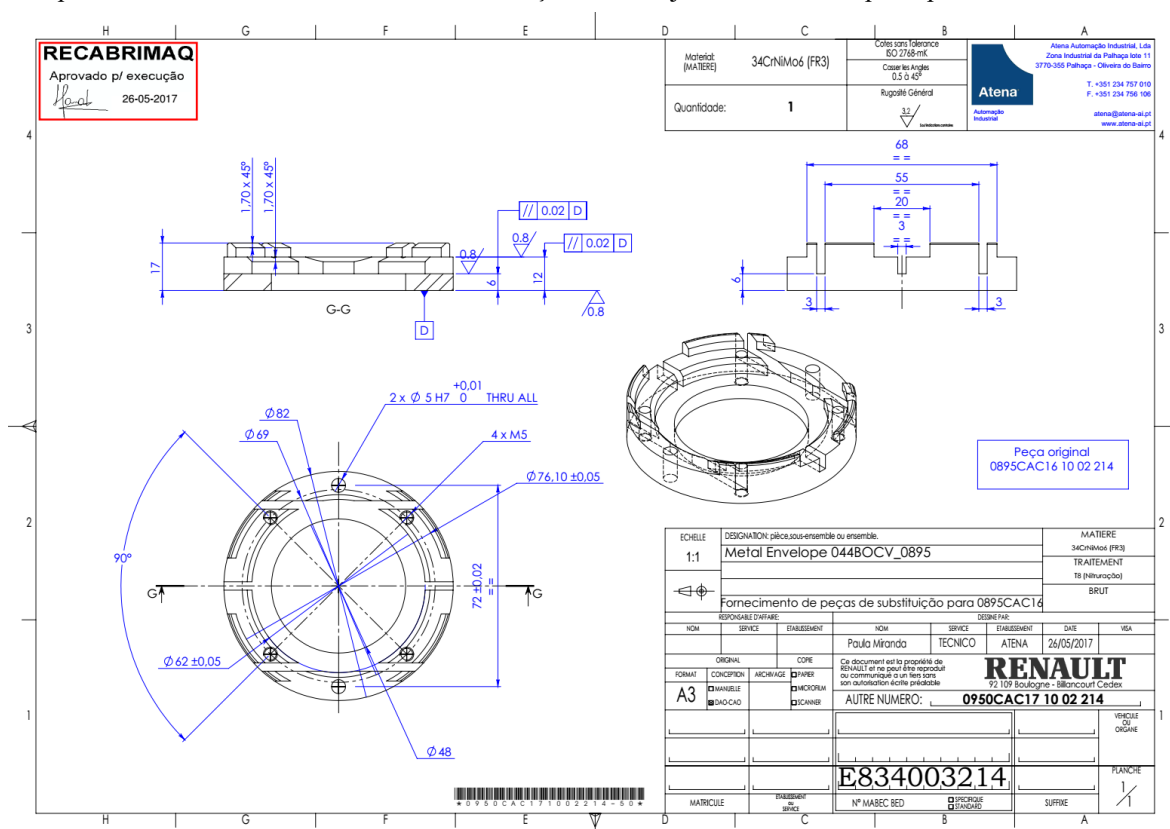


Figura 95 - Desenho de definição da peça 0950CAC17 10 02 214

Aço FR3 é um material indicado para a construção de componentes mecânicos que necessitem de resistir a esforços mais elevados que os aços ao carbono. Esta liga de aço melhora significativamente a resistência ao desgaste e à fadiga após a nitruração.

Este desenho, Figura 95, tem como base o desenho *0895CAC16 10 02 214* que originalmente previa a execução de 50 unidades desta peça. Neste caso de estudo apesar de apenas ser executada uma peça, será tratado como se fosse necessário a produção de 50 unidades, como especifica o desenho original.

<sup>1</sup> Marca pertencente à Ramada Aços

Tabela 22 - Especificações do Aço EN: 34 CrNiMo 6 (FR3) [33]

Composição Química (%)	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
	0,34	0,40	0,75	1,00	0,22	1,50
Dureza (condição de entrega)	300 HB					
Tensão de rotura	1300 N/mm <sup>2</sup>					
Dureza máxima (após tratamento)	62 HRC					

### 5.3.1. Sequência de maquinagem

De forma a definir a sequência de maquinagem, é necessária a definição do bruto. Analisando o desenho de definição, a peça apresenta medidas exteriores: Ø82x17. De forma semelhante ao Caso 2, será adicionado a sobre-espessura para torneamento, tanto no diâmetro como no comprimento. Como é possível ver na Figura 96 é necessário adicionar material ao comprimento para realizar o sangramento e a correta fixação da peça à bucha do torno.

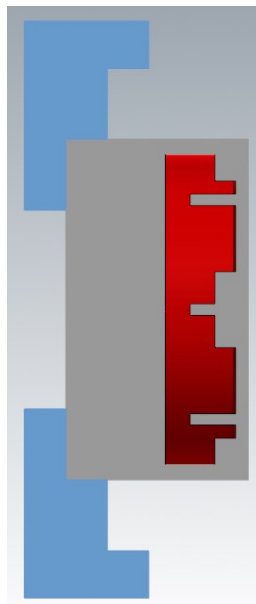


Figura 96 - Fixação do bruto à bucha do torno

$$L_{bruto} = L_{peça} + L_{sobreespessura} + L_{sangramento} + L_{aperto}$$

$$D_{bruto} = D_{peça} + D_{sobreespessura}$$

$$L_{bruto} = 17 + 3 + 4 + 20 = 44 \text{ [mm]}$$

$$D_{bruto} = 82 + 5 = 87 \text{ [mm]}$$

Após o cálculo teórico do bruto, e visto que o bruto será obtido após o corte, com serrote, de um varão com um diâmetro standard, a medida a usar para o diâmetro do bruto será então de 90 mm.

A divisão e nomeação das superfícies elementares que constituem esta peça, foi realizada tendo em conta os dois processos de fabricação distintos pelos quais esta peça vai passar. A divisão das superfícies, tal como a Figura 97 mostra, foi iniciada pelo perfil a torneiar sendo a identificação das restantes superfícies realizada posteriormente.

À semelhança do Caso 2, a máquina que irá executar as operações de torneamento será o torno CNC Haas TL1, enquanto que as operações de fresagem serão efetuadas no centro de maquinação *Haas VF2-SS*. Usualmente a realização das roscas não é efetuada nos centros de maquinação, mas sim na máquina de roscar *ROSCAMAT 200* ou manualmente caso o acesso à rosca não seja fácil ou seja de uma dimensão não suportado pela máquina de roscar. A opção de não roscar no centro de maquinação, permite que o centro de maquinação possa ficar livre e ser utilizado para execução de outras peças.

A sequência de maquinagem desta peça encontra-se no Anexo IX, sendo composta por 4 fases, em que as duas primeiras são realizadas no torno, a penúltima no centro de maquinação e a última na roscadora pneumática.

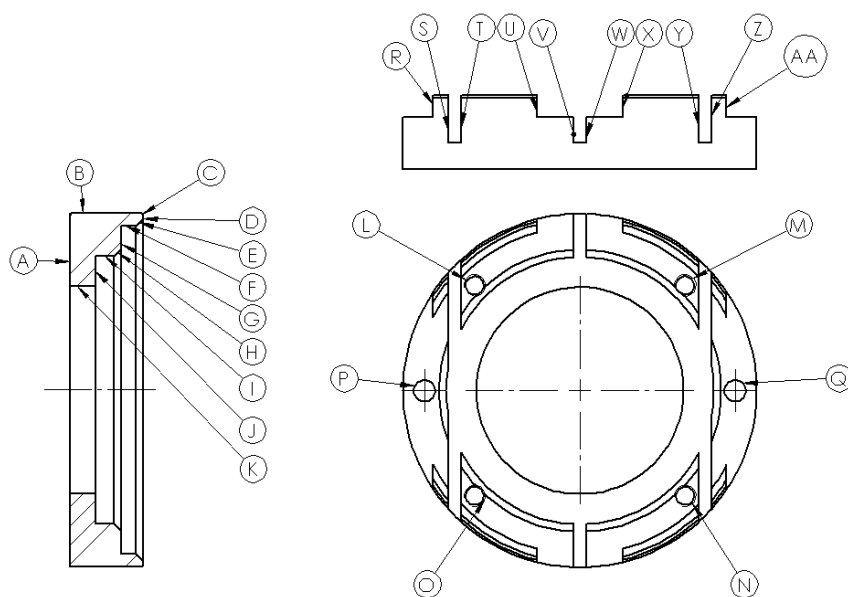


Figura 97 - Identificação das superfícies elementares - Caso de Estudo 3

### 5.3.2. Cadeia de cotas

Tendo em conta o desenho de definição e os processos produtivos para a execução desta peça, é necessário o cálculo de cotas indiretas, especialmente para o processo de torneamento.

No desenho com a cotação de fabrico, as cotas necessárias para o processo de torneamento foram calculadas de forma a que o zero peça seja coincidente com a face D. Foi também alterada a localização das cotas dos diâmetros para a vista em detalhe do perfil a torneiar. Apesar de apenas terem sido realizadas pequenas alterações, esta etapa permite agilizar o processo produtivo, evitando cálculos e possíveis erros por parte do operador. O desenho com a nova cotação de fabrico encontra-se no Anexo XI.

### 5.3.3. Fichas de Fase

Após o estudo da peça e da elaboração de uma sequência de maquinagem provisória, foram realizadas as fichas de fase. Estas fichas detalham ao máximo as operações a realizar em cada uma das fases. As fichas de fase detalhadas encontram-se no ANEXO XI. Seguidamente serão apresentadas algumas considerações que foram tidas em conta durante a realização das fichas de fase.

#### **Fase nº 10**

A primeira fase da realização desta peça destina-se ao torneamento exterior e à preparação do bruto para as operações de torneamento exterior. A furação de K prende-se com a necessidade de um furo guia onde na fase seguinte o ferro de tornear interior será introduzido. Apesar do ferro apenas necessitar de um furo com 25mm de diâmetro, é lógica a realização de um furo guia recorrendo a uma broca com o maior diâmetro disponível, pois a furação permite uma maior taxa de remoção de material.

#### **Fase nº 20**

Utilizando o furo realizado na fase anterior, nesta fase será efetuado todo o torneamento interior em desbaste e acabamento, exceto o chanfro H que apenas será realizado no centro de maquinação após a furação de L,M,N e O de forma a que a broca não intersele faces inclinadas e assim evitando possíveis descontinuidades durante a furação. Nesta fase, as faces F,G,I e J ficarão com uma sobre espessura de 0,2mm para acabamento na fase nº40. Esta sobre espessura tem como objetivo a realização da operação de acabamento destas faces após a realização do desbaste dos rasgos que serão realizadas na fase nº40.

Nesta fase dá-se a conclusão do trabalho de torno com o sangramento da peça.

#### **Fase nº 30**

Inicia-se o trabalho no centro de maquinação. São realizados os rasgos, furação, mandrilagem e chanframento. A peça será apertada numa prensa de aperto com mordentes em alumínio maquinados com o perfil exterior da peça em negativo. Ao ser usado este tipo de mordentes a fixação da peça ocorrerá de uma forma mais uniforme devido à maior área de contacto entre a peça e os mordentes. Isto não só é vantajoso pela maior qualidade de aperto, em comparação com o uso de mordentes rígidos e calços calibrados, mas também do ponto de vista de preparação do trabalho por parte do operador pois simplifica o processo de aperto da peça.

#### **Fase nº 50**

Esta é a última fase de produção desta peça, onde são realizadas as 4 roscas M5 usando a máquina pneumática de roscar (Roscamat 200).

### **5.3.4. Programação**

Para a execução desta peça foi necessário não só criar programas para o torneamento nas fases 10 e 20, como também criar os programas para a fresagem na fase 30.

A programação das etapas de torneamento foi realizada segundo o mesmo método do caso de estudo anterior, de forma manual tirando partido das funções específicas para torneamento (G70 e G71).

A etapas de fresagem foram programadas com o *software* CAM *Mastercam X7* e a Figura 98 mostra alguns dos percursos simulados pelo *software* CAM.

Na Tabela 23 estão detalhadas as estratégias usadas em cada uma das operações da fase 30.

Tabela 23 - Estratégias CAM usadas no Caso de Estudo 3

Op	Estratégia CAM	Descrição
1	<i>2D High Speed Dynamic Peel Mill</i>	Estratégia de desbaste dinâmico com movimentos trocoidais e penetração lateral constante. Esta estratégia é aconselhada na abertura de canais e rasgos. Durante os movimentos de posicionamento dentro do rasgo/canal faz uma micro-elevação da ferramenta relativamente à peça para evitar o contacto com a peça.
2	<i>2D High Speed Dynamic Contour Mill</i>	Estratégia de desbaste dinâmica de corte ao longo de um contorno pré-estabelecido. Tal como o <i>Peel Mill</i> , usa micro-elevação durante os movimentos rápidos e usa sempre que possível toda a altura de corte da ferramenta de forma a criar um desgaste uniforme na ferramenta.
3 e 4	<i>2D Contour (Ramp)</i>	Estratégia 2D em que a ferramenta percorre um contorno selecionado. Neste caso foi usada a opção <i>Ramp</i> que faz a ferramenta incrementar em Z ao longo de cada percurso com um ângulo ou profundidade definidos.
5 e 7	<i>Drill</i>	Estratégia de furação direta
6	<i>Bore</i>	Estratégia de mandrilagem. Neste caso foi adicionada uma pausa de 1s na profundidade final do furo para garantir um correto acabamento do furo.
8 e 9	<i>2D Contour Chanfer</i>	Estratégia de chanframento ao longo de um contorno 2D. Apenas é necessário introduzir a largura do chanfro pretendido.
10, 11, 12 e 13	<i>2D Contour</i>	Estratégia semelhante ao <i>2D Contour (Ramp)</i> mas o incremento em Z é feito através de mergulho da ferramenta. Neste caso também é usada a opção de <i>multipass</i> para que a ferramenta para além de percorrer o contorno selecionado, percorresse esse mesmo contorno em <i>offset</i> de forma a garantir que a ferramenta abrangesse toda a área pretendida para acabamento.

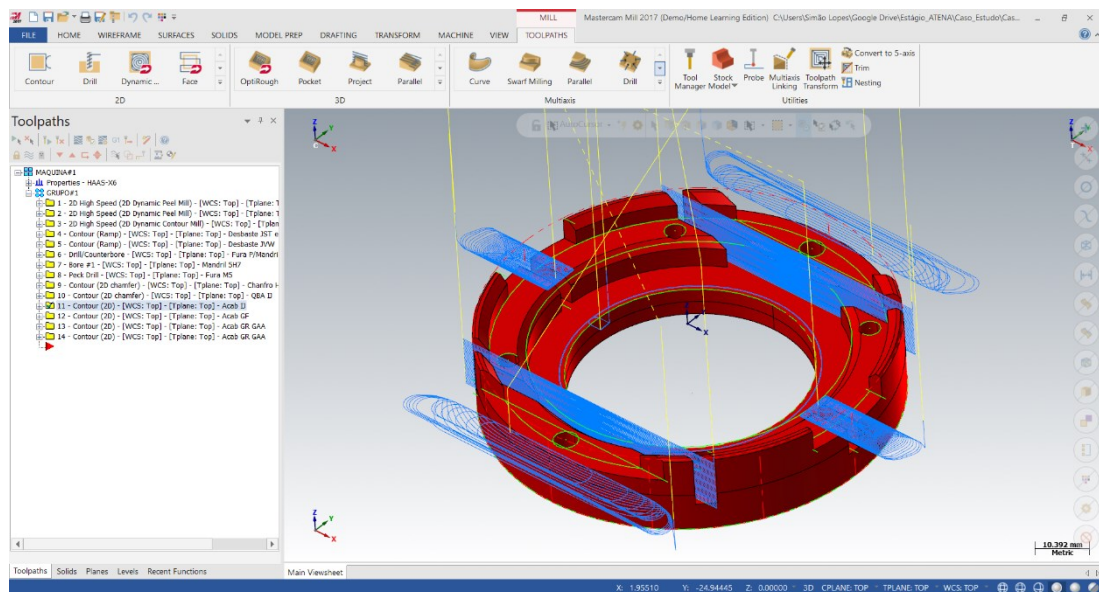
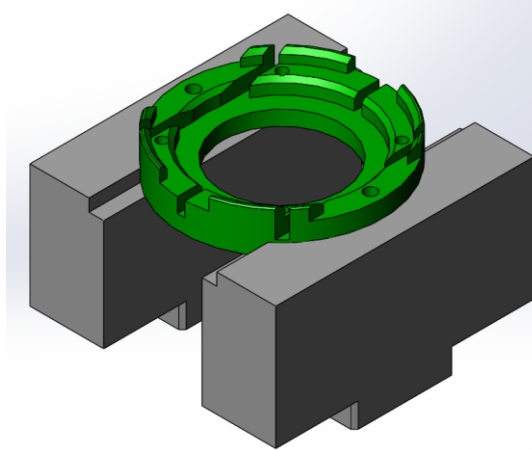


Figura 98 - Percursos das ferramentas simulados no software CAM - Caso de Estudo 3

### 5.3.5. Maquinagem

O processo de execução desta peça começou com o desenvolvimento e execução de um par de mordentes brandos, cujo desenho técnico se encontra no Anexo XIII, que permitem a fixação da peça durante as operações a realizar no centro de maquinagem. Os mordentes serão realizados em alumínio pois para além de ser mais macio que o aço está normalmente disponível em stock na empresa, em placas com várias espessuras.

A Figura 99 exemplifica a montagem da peça a executar nos mordentes brandos. Os mordentes além de no seu topo possuírem a forma exterior da peça, no inferior possui uma extrusão que será usada como guia, deslizando no interior dos rails das prensas de aperto montadas na máquina. A opção de usar este tipo de mordentes prende-se com a necessidade de aumentar a área de aperto e com a necessidade de eliminar a necessidade de realizar o zero peça em todas as peças. Com este dispositivo, para além de não ser necessário modificar o equipamento de fixação já existente, agiliza o processo em séries longas.



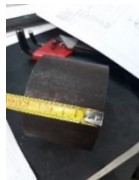







*Figura 99 - Modelo CAD da montagem com os mordentes brandos*

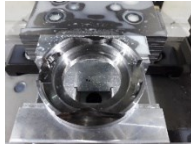

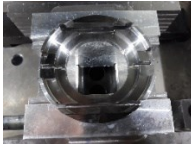
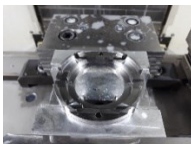
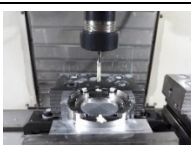


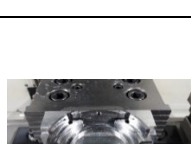
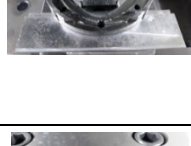
Após a conceção e realização dos mordentes brandos iniciou-se a execução da peça, sendo a primeira etapa a fase 10 no torno CNC.


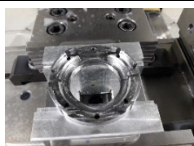

A Tabela 24 reúne as observações e os tempos de preparação e de corte necessários para cada operação de execução da peça.



Tabela 24 - Descrição do processo de maquinação - Caso de estudo 3

Fase	Op	Observações		T <sub>prep</sub> (mm:ss)	T <sub>corte</sub> (mm:ss)
10	1	Tal como no Caso 2, em vez de cortar o bruto com as dimensões acima calculadas, usou-se uma peça já em stock que tinha 65mm de comprimento.		03:00	02:29
	2	No fim desta operação é possível ver na zona central uma descontinuidade do acabamento. Isto deve-se à impossibilidade do torno alcançar rotações que permitam manter a velocidade de corte durante todo o facejamento		-	00:45
	3	Ponteamento realizado em modo manual		01:00	01:00
	4	Foi executada a furação com broca Ø9.0 até cerca de 30mm de profundidade. Este furo servirá de furo guia à próxima broca. A apara criada nesta operação é helicoidal em gume curta (como seria espetável de obter num aço ligado), permitindo assim um fácil escoamento da limalha. [1]		01:00	3:20
	5	Furação com a broca Ø26,5 para permitir a entrada do ferro de torneamento interior. Durante a realização da furação a apara formada apresenta uma forma Helicoidal cónica longa que apesar de não ser a mais desejada, não comprometeu a operação pois esta era libertada facilmente da broca. [1]		01:00	5:15
20	1	Iniciou-se o desbaste com uma penetração (Ap) de 1mm mas este valor teve de ser reduzido para 0,70mm pois a peça começou a vibrar e o torno estava a entrar em sobrecarga.		03:00	02:44
	2	O sangramento foi realizado em modo manual. Neste caso em particular apenas foi necessário realizar o sangramento até Ø48 uma vez que a peça possui uma forma anelar com diâmetro interno de 48mm.		-	1:05
30	1	O zero peça foi obtido com o apalpador Renishaw OMP40, garantindo assim um correto posicionamento da peça.		02:14	02:46

2	Após o desbaste dos rasgos laterais, entre as paredes verticais R e AA ficou uma parede fina de material que a ferramenta defletiu para o interior da peça (fora da sua zona de trabalho) e ficaram ligadas pelas extremidades nas arestas formadas pelas faces R/F e AA/F, respetivamente. De forma a evitar o enrolamento dessas aparas na ferramenta, podendo causar danos ou quebra da ferramenta, o operador com o auxílio de um alicate removeu essas aparas.		00:40	02:33
3	Após o desbaste de todos os rasgos, nas zonas de saída e entrada da ferramenta existem bastantes rebarbas. Devido ao difícil acesso a estas zonas, estas rebarbas serão removidas manualmente no final com uma lima.		1:00	10:06
4	O desbaste nesta fase apesar de remover todo o material entre os rasgos, não removeu totalmente o material na superfície J. No entanto isto não é relevante pois essa superfície será acabada numa operação futura.		-	01:20
5	Devido ao método normal de trabalho da empresa, nesta etapa não foi necessária a calibração da ferramenta pois cada máquina tem sempre no seu carrossel brocas para realizar furos para roscas de M5 a M10.		00:25	00:16
6	Antes de realizar o mandrilagem dos furos, o programa entrou em pausa (M00) de forma a lubrificar o mandril com massa consistente específica para operações de mandrilagem e roscagem.		00:25	01:08
7	Realizado de forma semelhante à operação 5 desta fase.		-	00:57
8	Realização do chanfro H e do quebra arestas entre as superfícies J e K com um chanfro de 0,5x45°		-	03:23
9	Após a realização da operação de acabamento, usou-se um calibre de Ø62 para verificar a tolerância. Uma vez que o calibre não entrava alterou-se o offset da ferramenta em 0,02mm e realizou-se uma passagem de acabamento. De notar que o único instrumento de medição com precisão disponível para verificar este furo era o comparador de diâmetros interiores que, devido às paredes interiores serem em forma de escada, não permitia a realização da medição de forma correta.		-	02:36
10	Uma vez que <i>offset</i> da fresa de acabamento foi corrigido na operação anterior, nesta operação a cota foi atingida sem a necessidade de múltiplas passagens em acabamento		-	01:35

	11	Após a o acabamento dos rasgos laterais GR e GAA ficou alguma rebarba nas superfícies R e AA		-	00:37
	12	De forma semelhante ao observado na operação anterior as superfícies U e X possuem alguma rebarba, principalmente nas arestas com a face F.		-	00:58
40	1	Tal como na operação de mandrilagem foi usada massa lubrificante para a realização das rosas M5		00:30	00:30
				14:14	45:23

### 5.3.6. Resultados do controlo metrológico

Após a conclusão da execução da peça, procedeu-se o controlo metrológico para validar a peça.

Na Figura 100 estão identificadas todas as cotas a controlar e na Tabela 25 o registo das medições obtidas.

De forma a verificar as cotas de paralelismo M1 e M2, Figura 101 (esq) foi usado um comparador de cardan com erro máximo de 0,0005mm acoplado à coluna de medição vertical e uma mesa de granito como plano base.

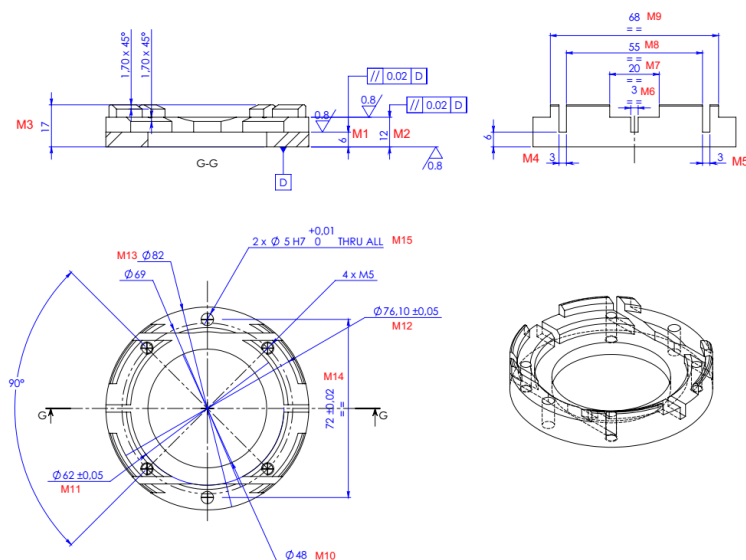


Figura 100 - Identificação de cotas a verificar - Caso 3

A verificação do posicionamento entre os furos P e Q foi realizada com a busca centros acoplado à coluna vertical - Figura 101 (dir). O primeiro passo foi encontrar o centro do furo localizado mais próximo do plano base, após a sua localização, e mudou-se a escala da coluna de medir vertical do modo absoluto para o modo incremental.



Figura 101 - Montagem para o controlo do paralelismo (esq) e posicionamento entre furos (dir)

Tabela 25 - Verificação dimensional - Caso 3

Ref	Medida Nominal	Tolerância		Verificado	Erro
		Min	Max		
M1	6	5,90	6,10	5,980	$\pm 0,005$
	$\parallel 0,02 D$	0	0,02	0,013	$\pm 0,0005$
M2	12	11,80	12,20	12,030	$\pm 0,005$
	$\parallel 0,02 D$	0	0,02	0,015	$\pm 0,0005$
M3	17	16,80	17,20	17,05	$\pm 0,01$
M4	3	2,90	3,10	2,98	$\pm 0,01$
M5	3	2,90	3,10	2,98	$\pm 0,01$
M6	3	2,90	3,10	2,99	$\pm 0,01$
M7	20	19,80	20,20	20,00	$\pm 0,01$
M8	55	54,70	55,30	54,99	$\pm 0,01$
M9	68	67,70	68,30	68,01	$\pm 0,01$
M10	$\varnothing 48$	47,70	48,30	48,02	$\pm 0,01$
M11	$\varnothing 62$	61,95	62,05	61,98	$\pm 0,01$
M12	$\varnothing 76,10$	76,05	76,15	76,08	$\pm 0,01$
M13	$\varnothing 82$	81,70	82,30	82,00	$\pm 0,01$
M14	72	71,98	72,02	72,01	$\pm 0,01$
M15	$\varnothing 5H7$	0	0,01	OK	-

### 5.3.7. Discussão

Após o controle metrológico a peça foi considerada estar dentro das tolerâncias especificadas pelo seu desenho de definição. A Figura 102 mostra a peça final obtida.



*Figura 102 - Peça final - Caso 3*

Tendo em conta as observações realizadas durante a fase 30 para a execução desta peça em série, torna-se necessário eliminar a presença de rebarbas após as operações 1 e 2, assim como a diminuição da rebarba deixada após a conclusão da fase de fresagem. A eliminação das rebarbas criadas pelo desbaste pode ser obtida com a mudança de abordagem de desbaste. Em vez da ferramenta se movimentar paralelamente à direção dos rasgos, esta deveria movimentar-se com movimentos trocoidais do interior para o exterior da peça.

Para a realização da peça, foram necessários cerca de 64 minutos (59 minutos de maquinação e 5 minutos para a remoção de rebarba manualmente com uma lima). É de notar que a realização dos mordentes brandos demorou cerca de 20 minutos. Posto isto o tempo necessário para a total execução desta peça e de um par de mordentes macios foi de 79 minutos (1h 19min). Contudo é de notar que as operações afetas ao torno têm uma duração de 25 min, tendo assim a fase de torneamento uma cadência de produção de sensivelmente o dobro da fase de fresagem.

Seguidamente foi feito o estudo do tempo necessário para a produção de 50 unidades desta peça e a comparação com o processo anteriormente usado pela empresa. Na anterior execução destas peças, a fase de torneamento tinha uma duração de 23 minutos, sendo apenas realizadas as superfícies A,B,C,D e K (um anel de espessura 17,  $D_{ext}=82$  e  $D_{int}=48$ ). A fase de fresagem tinha uma duração aproximada de 60 minutos (sem incluir a remoção de rebarbas manualmente). Posto isto, para a execução de 50 peças:

#### Método Antigo:

$$T_{metodo\ antigo} = T_{torneamento} + T_{fresagem} [min]$$

$$23 + 60 = 83\ min$$

$$T_{metodo\ antigo\ (50uni)} = T_{metodo\ antigo} \times 50 [min]$$

$$83 \times 50 = 4150\ min \rightarrow 69h\ 6\ min$$

#### Método Novo:

$$T_{metodo\ novo} = T_{torneamento} + T_{fresagem} [min]$$

$$26 + 33 = 59\ min$$

$$T_{\text{metodo novo (50uni)}} = T_{\text{metodo novo}} \times 50 + 20 [\text{min}]$$

$$59 \times 50 = 2970 \text{ min} \rightarrow 49h \ 26 \text{ min}$$

Tempo ganho:

$$T_{\text{ganho}} = 4150 - 2970 = 1180 \text{ min} \rightarrow 19,67h \rightarrow 19h40min$$

$$\frac{19,67}{69} \times 100 = 28,51 \%$$

Tendo em conta os cálculos acima realizados, este método traz um ganho de 28,5% face ao método anteriormente utilizado. É ainda possível verificar que mesmo com a realização dos mordentes brandos, o novo método ainda consegue ser mais rápido do que o método anteriormente utilizado.

A diminuição do tempo de ciclo deve-se não só à aplicação de estratégias de maquinagem CAM mais eficientes, mas também à simplificação do processo de fixação da fase de fresagem com o uso de mordentes brandos em alumínio. Na abordagem antiga, após as operações de torneamento a fresagem necessitava de duas fases, com uma operação de roscagem externa entre elas. Na primeira fase de fresagem a peça era fixada nas prensas de aperto com mordentes rígidos e calços calibrados, sendo então realizada toda a furação da peça. Seguidamente, a peça seguia para a bancada de roscar, onde era realizada a roscagem dos 4 furos M5 com a roscadora pneumática. Finalmente a peça regressava ao centro de maquinaria onde era aparafusada pela sua base, através de quatro parafusos M5, a uma placa de alumínio que tinha a furação coincidente com a peça.

## 5.4. Caso de estudo 4 – Desenvolvimento de aplicação informática para a gestão de produção com tecnologia CNC

Cada vez mais existe, por parte das empresas, a necessidade incrementar a eficiência dos processos, assim como a sua informatização. A integração de sistemas de gestão nas empresas permite um planeamento do trabalho mais ajustado aos equipamentos disponíveis na empresa, assim como um maior rendimento dos recursos, e o conhecimento em tempo real da capacidade produtiva disponível.

Atualmente as empresas de forma a conseguirem otimizar os seus recursos, estão cada vez mais a optar pela integração de sistemas ERP. Um ERP é uma aplicação informática vocacionada para o controlo e gestão de recursos da empresa. Estes sistemas são normalmente constituídos por vários módulos (gestão de recursos, planeamento, controlo de produção, encomendas, faturação, entre outros) que permitem a sua adaptação à realidade de cada empresa e do seu processo produtivo.

Normalmente estes sistemas são compostos por uma interface onde o utilizador insere, consulta, remove ou atualizada dados e por um sistema de gestão de base de dados (SGBD) responsável pela integração da aplicação informática com a base de dados.

### 5.4.1. Enquadramento

O desenvolvimento de uma aplicação para a gestão de produção, prende-se com a necessidade de planear e rentabilizar os equipamentos disponíveis. Para além da rentabilização dos equipamentos do setor da maquinação que a Figura 103 mostra, a empresa tem a necessidade de prever a data de conclusão de cada uma das peças, registar e gerir as datas previstas para a entrega da matéria prima para as peças, acompanhar em tempo real o estado de execução da cada uma das peças e registar o histórico de produção e de qualidade das peças em curso.

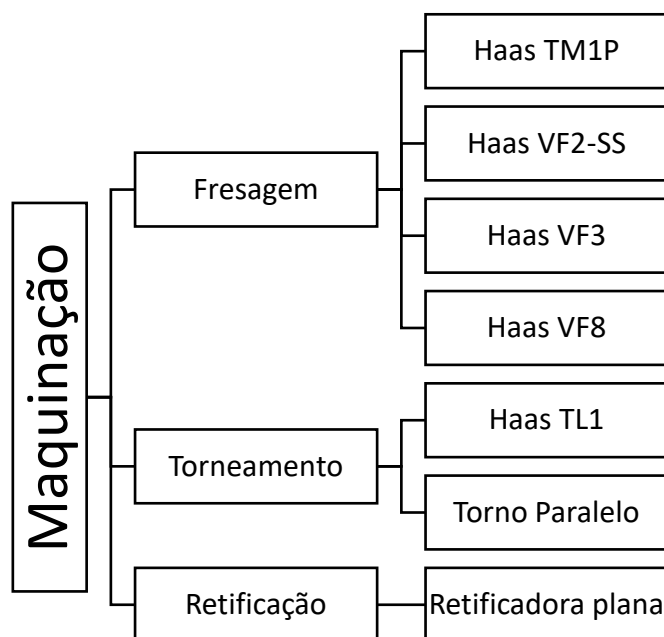


Figura 103 - Equipamentos do setor da maquinação a controlar com a aplicação

Atualmente na empresa, após a conclusão dos projetos e a aprovação dos desenhos de definição das peças a produzir, estes são enviados para o gabinete de planeamento e produção. Aí são analisados e, consoante a capacidade produtiva disponível na empresa, é tomada a decisão de se produzir internamente as peças ou subcontratar a sua produção. Caso a produção seja interna, os desenhos das peças são entregues à maquinação/tornearia onde é verificada a existência de material em stock que possa ser utilizado para os brutos das peças. Caso o material não exista em stock, esses desenhos são devolvidos ao gabinete de planeamento para se efetuar a encomenda do material necessário.

Após a recolha/entrega do material em bruto, se necessário é efetuado o seu corte. Posteriormente o material é colocado juntamente com o desenho correspondente em espera. É nesta fase que são criados os programas peça, utilizando o Mastercam e respetivo processamento para linguagem ISO, necessários para a execução das peças. Após estas etapas a peça é maquinada, roscada e acabada, seguindo no final destas etapas para o controlo metrológico. Nesta fase as cotas são verificadas e a peça, caso esteja conforme o especificado, é enviada para o tratamento superficial/térmico (caso não seja necessário nenhum tipo de tratamento a peça é armazenada até se iniciar a montagem do equipamento a que pertence) sendo novamente verificada quando regressa à empresa após os tratamentos. Quando a peça é considerada não conforme durante as etapas de controlo metrológico ou após a receção do tratamento, caso seja possível a sua reparação é enviada para a maquinação. Se a reparação não for possível, é enviada para o gabinete de produção onde após análise da peça danificada, é lançado um novo desenho da peça para a produção. Este processo está esquematizado na Figura 104.

Apesar do processo acima descrito estar bem implementado, não existe nenhum registo informatizado de todo o processo. Atualmente o único registo que se realiza é o tempo necessário em cada máquina para a produção de cada uma das peças. O registo é efetuado através da leitura de um código de barras que esta apresenta no desenho de definição da peça e é então introduzido no software PHC que depois calcula o custo de produção de cada peça com base no tempo e equipamento utilizado.

A inexistência de registo de todas estas operações, impossibilita saber a capacidade produtiva disponível, assim como o estado que encontra uma determinada peça, ou até mesmo toda a obra. O desenvolvimento desta aplicação deverá fornecer uma ferramenta, otimizada à realidade da empresa, capaz de solucionar estes problemas sem a necessidade de investimento em software bastante mais complexo.



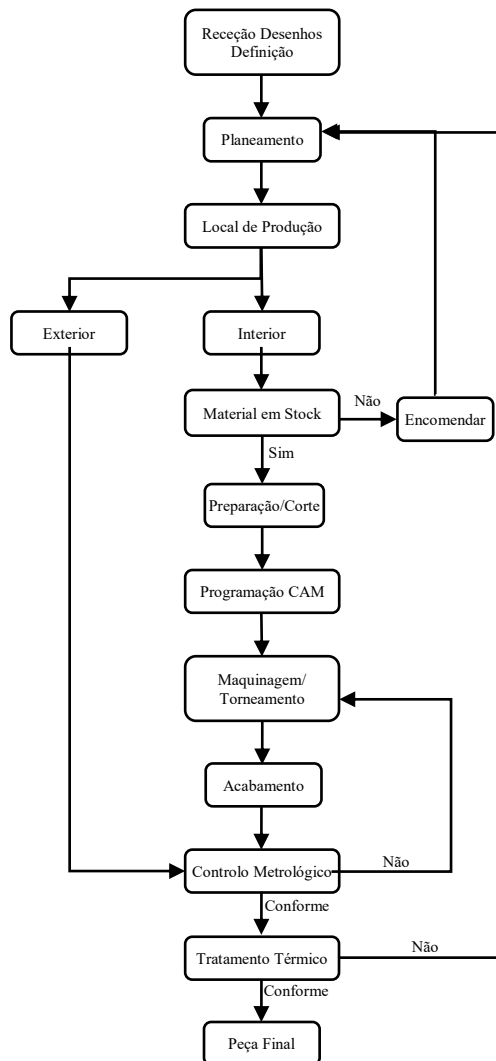


Figura 104 - Fluxo de produção na empresa

#### 5.4.2. Desenvolvimento da Aplicação

A primeira etapa do desenvolvimento da aplicação foi a identificação das variáveis a controlar para que todo o processo produtivo possa ser acompanhado com a aplicação. Para tal é necessário entender o sistema de atribuição de códigos a cada uma das peças.

O código de cada peça, como se pode ver na Figura 105 é composto por 17 caracteres na sua versão base. Os primeiros 10 caracteres identificam o projeto, enquanto que, os restantes identificam a peça. Além deste código base existem ainda mais três tipos. O primeiro tem o objetivo de identificar e numerar um desenho que sofreu alguma revisão face ao desenho original, neste caso é adicionada uma letra no final do código. O segundo é usada para identificar peças que sejam definidas pelo projetista, como peças de desgaste (peças que serão substituídas periodicamente). O terceiro diz respeito a uma peça de desgaste que sofreu uma revisão à peça inicial, sendo uma combinação dos dois códigos anteriores

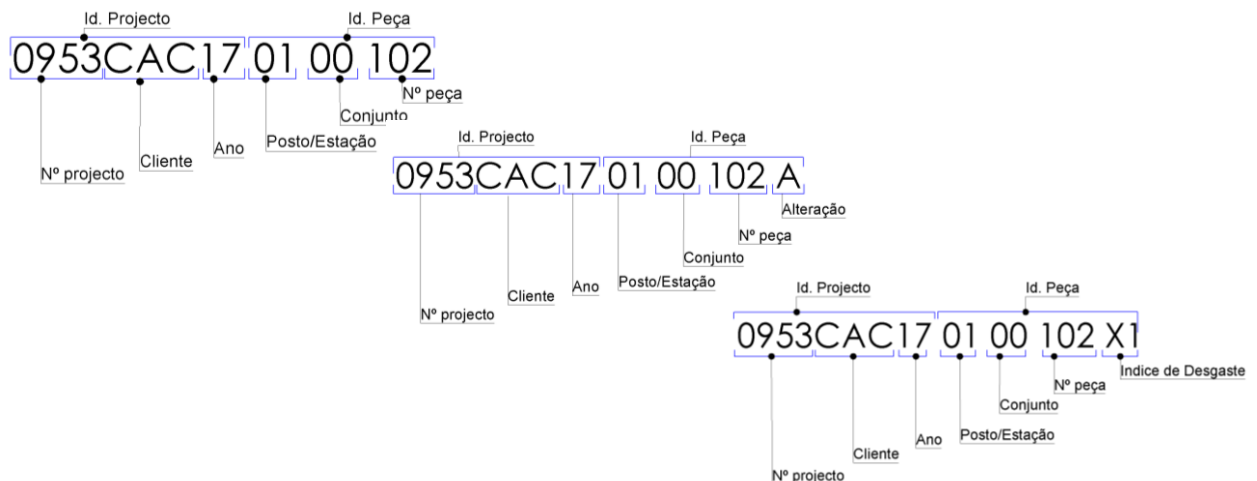


Figura 105 - Sistema de identificação das peças utilizado na empresa

Após a definição do sistema de codificação utilizado pela empresa, foi elaborado um diagrama de dependências funcionais, que se encontra no Anexo XV. O diagrama de dependências funcionais aqui definido tem como propósito apresentar todos os atributos que devem ser introduzidos na base de dados, a relação existente entre cada um e definir quais as variáveis mínimas a controlar para definir o sistema. Da análise do diagrama de dependências funcionais, para cada peça, devem ser controladas as seguintes variáveis:

- Local de produção
- *Stock* do bruto
- Data prevista de entrega do bruto
- Duração prevista de maquinação
- Máquina
- Operador
- Data início maquinação
- Data fim maquinação
- Controlo de Qualidade
- Data da chegada ao controlo de qualidade
- Data envio para tratamento
- Data receção do tratamento

Neste diagrama apenas foi considerada uma máquina que adiciona 4 variáveis a controlar. No entanto, é necessário controlar 9 postos de trabalho, que resulta na necessidade de controlar 44 variáveis. Os restantes atributos são atributos intrínsecos à própria peça.

Estando definidas as variáveis a controlar, foi necessário seleccionar o *software* para o desenvolvimento da aplicação, assim como a plataforma para a base de dados. Foi seleccionado o Visual Basic, utilizando o *Microsoft Visual Studio*. por ser a linguagem de programação utilizada durante o percurso académico, e por ser um *software* de desenvolvimento de aplicações em ambiente *Windows*.

Para a gestão da base de dados, foi escolhido o *MySQL Workbench*, uma aplicação gratuita que permite a criação, desenvolvimento, monitorização e controlo de bases de dados. Esta aplicação quando

configurada como servidor, permite tornar um computador num servidor onde todos os outros clientes da base de dados podem aceder. Este *software* permite ainda criar vários utilizadores com níveis de acesso distintos, permitindo assim a definição de vários níveis de acesso aos dados.

### 5.4.3. Interface da aplicação

A interface completa pode ser consultada no Anexo XVI. A interface é constituída por uma zona onde todos os conteúdos de cada pagina são mostrados, e uma barra vertical no lado esquerdo que possibilita a seleção e navegação entre paginas, como se pode ver na Figura 106.

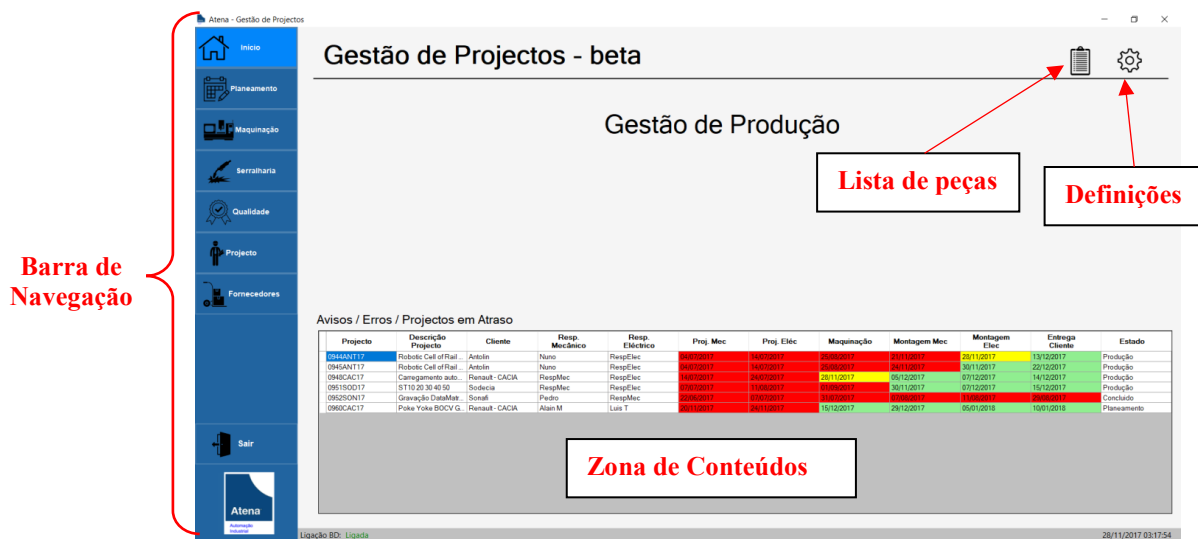


Figura 106 - Descrição da Pagina Inicial da aplicação

Foi ainda criada uma opção de pesquisa de peças através da introdução do código de barras, bastando apenas a introdução do código de barras através de um *scanner* como o da Figura 110.

Seguidamente serão apresentadas cada uma das páginas da aplicação:

#### Página Inicial

Página inicial da aplicação. Na zona central, são mostrados os projetos ativos, o cliente, os responsáveis, as datas a cumprir por cada setor da empresa e o estado em que cada um dos projetos se encontra. Nesta página é possível o acesso à janela de definições onde é possível alterar os valores de custo/hora das máquinas e operadores, consulta e alteração as tabelas dos materiais e tratamentos que são sugeridos durante a criação de novas peças na aplicação.

#### Planeamento

Nesta página, como mostra a Figura 107, são introduzidas e geridas as peças em produção, materiais, fornecedores de matéria prima e equipamentos.

Definição das máquinas e tempos previstos em cada uma das máquinas para a execução de cada uma das peças. Estes parâmetros são usados no preenchimento do plano de trabalho diário, que pode ser acedido através desta página, ou através da página da maquinação.

**Planeamento diário da maquinaria**

## Planeamento

**Identificação da Peça**

Projeto Nº: 0944ANT17    Robotic Cell of Rail Set Front and Rear  
☒ Peça Nº: 00 00 001    Rev:    Qt: 1

**Caracterização da peça**

Produção: ☒ Int ☐ Ext    Prioridade: 2-Média    Material: Aluminio 5083    Tratamento:    Dim: 400 x 105 x 10 [mm]

Stock: ☒ Sim ☐ Não    Entrega Bruto: 11 de dezembro de 2017    Fornecedor:    Custo: 0 €

Maq Ext: Int    Prazo Produção: 7 de dezembro de 2017    Estado: Montagem

Maq. Nº1: TL1    T Maq. Nº1: 1 (h/uni)    Maq. Nº2: TM1P    T Maq. Nº2: 0 (h/uni)

Início Produção: 28 de novembro de 2017    7:00

Filtrar Projectos: Todos    Posio:    Início Produção: 28 de novembro de 2017    7:00

Projecto	Peça	Rev.	Qt.	Descrição	Prod.	Prioridade	Tipo	Material	Tratamento	Estado	Fim Prod	Stock	Bruto	Entrega Mat	T CNC(h)	Maq. CNC	L	C	H
0944ANT17	00 00 001	1	1		Int	2-Média	TM	Aluminio 5...		Montagem	07/12/2017	Sim		Em Stock	1	TL1	400	105	10
0944ANT17	00 00 005	1	1		Int	1-Alta	T	Aço FR3	Nituração	Produção	12/12/2017	Não	1000	12/12/2017	0.0	TL1	50	300	0
0944ANT17	00 00 006	1	1		Int	2-Média	M	Aço 2311	Indefinido	Produção	26/12/2017	Sim		Em Stock	0.0	VF3	145	35	30
0944ANT17	00 00 007	1	1		Int	2-Média	T	Aluminio 7...		Maquinação	13/12/2017	Não	1011	13/12/2017	1	TL1	0	0	0
0944ANT17	00 00 008	1	1		Int	3-Baixa	M	Aço F10	Zincagem	Produção	07/12/2017	Não	1000	07/12/2017	0.0	VF3	0	0	0
0944ANT17	00 00 009	1	1		Int	2-Média	T	Aluminio 5...		Produção	26/08/2017	Não	1010	11/12/2017	0.2	Torno Man...	0	0	0
0944ANT17	00 00 043	1	1		Int	2-Média	M	Aluminio 5...		Montagem	21/12/2017	Sim		Em Stock	0.0	VF8	400	105	10
0944ANT17	00 01 014	8		Suporte Jigs	Int	2-Média	M	Aluminio 5...		Montagem	21/12/2017	Sim		Em Stock	0.0	TM1P	400	105	10
0944ANT17	00 01 017	10			Int	2-Média	TM			Produção	11/12/2017	Sim		Em Stock	0.3	Torno Man...	0	0	0
0945ANT17	00 01 014	8		Suporte Jigs	Int	2-Média	M	Aluminio 5...		Montagem	21/12/2017	Sim		Em Stock	0.0	TM1P	400	105	10
0951SOD17	50 01 116	2		Interface P...	Int	2-Média	M	Aço 2311	Oxidação a...	Tratamento	21/12/2017	Sim		Em Stock	0.0	VF3	400	105	10
0951SOD17	50 01 220	2		Batente Rot...	Int	2-Média	M	Aço F10	Zincagem	Produção	21/12/2017	Sim		Em Stock	1	TM1P	0	0	0
0951SOD17	50 01 222	4		Came Elev...	Int	2-Média	M	Aço F10	Oxidação a...	Tratamento	21/12/2017	Sim		Em Stock	0.0	VF3	0	0	0
0951SOD17	50 01 229	2			Int	2-Média	M	Aço C265	T6 Têmpera	Montagem	21/12/2017	Sim		Em Stock	3	VF3	0	0	0
0951SOD17	50 01 231	2			Int	2-Média	M	Aço F10	Zincagem	Montagem	21/12/2017	Sim		Em Stock	0.0	TM1P	0	0	0
0951SOD17	50 01 235	2			Int	2-Média	M	Aço 2311	Nituração	Montagem	21/12/2017	Sim		Em Stock	2	TL1	0	0	0
0951SOD17	50 01 311	2			Int	2-Média	M	Aço F10	Zincagem	Montagem	21/12/2017	Sim		Em Stock	0.0	TM1P	0	0	0
0951SOD17	50 02 018	4			Int	2-Média	M	Aço F10	Zincagem	Montagem	21/12/2017	Sim		Em Stock	0.0	TM1P	0	0	0
0951SOD17	50 02 112	1		placa gavet...	Int	2-Média	M	Aço C265	T6 Têmpera	Montagem	21/12/2017	Sim		Em Stock	7	VF8	0	0	0

Figura 107 - Painel de planeamento

### Maquinação

Nesta página os operadores registam o início e a conclusão da produção das peças. O registo pode ser realizado através do código de barras da peça. Após a seleção do operador e da máquina/posto onde a peça será executada o trabalho pode ser iniciado. A Figura 108 mostra a visão geral do painel da maquinação.

### Serralharia

Página semelhante à da maquinação, no entanto, nesta página apenas é necessário introduzir o código da peça e o operador que a irá realizar.

### Qualidade

A página do controlo de qualidade serve não só para registar se a peça está conforme o desenho de definição, mas também para registar qual o fornecedor de tratamento superficial para onde a peça será enviada. Para além do registo do controlo metrológico, nesta página deverá ser introduzida a conformidade do tratamento e as datas de receção das peças após o tratamento.

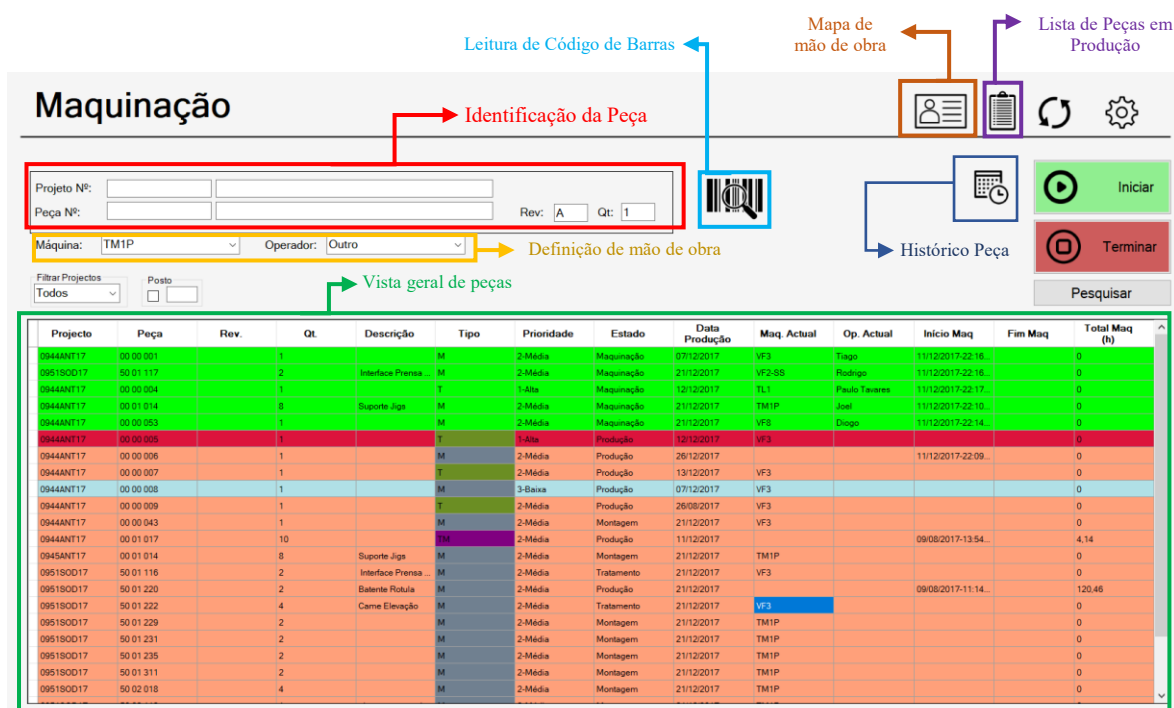


Figura 108 - Painel da maquinação

## Projeto

Nesta página são criados os projetos com a introdução do seu código, descrição, cliente, responsáveis e datas de conclusão de tarefas de cada um dos setores.

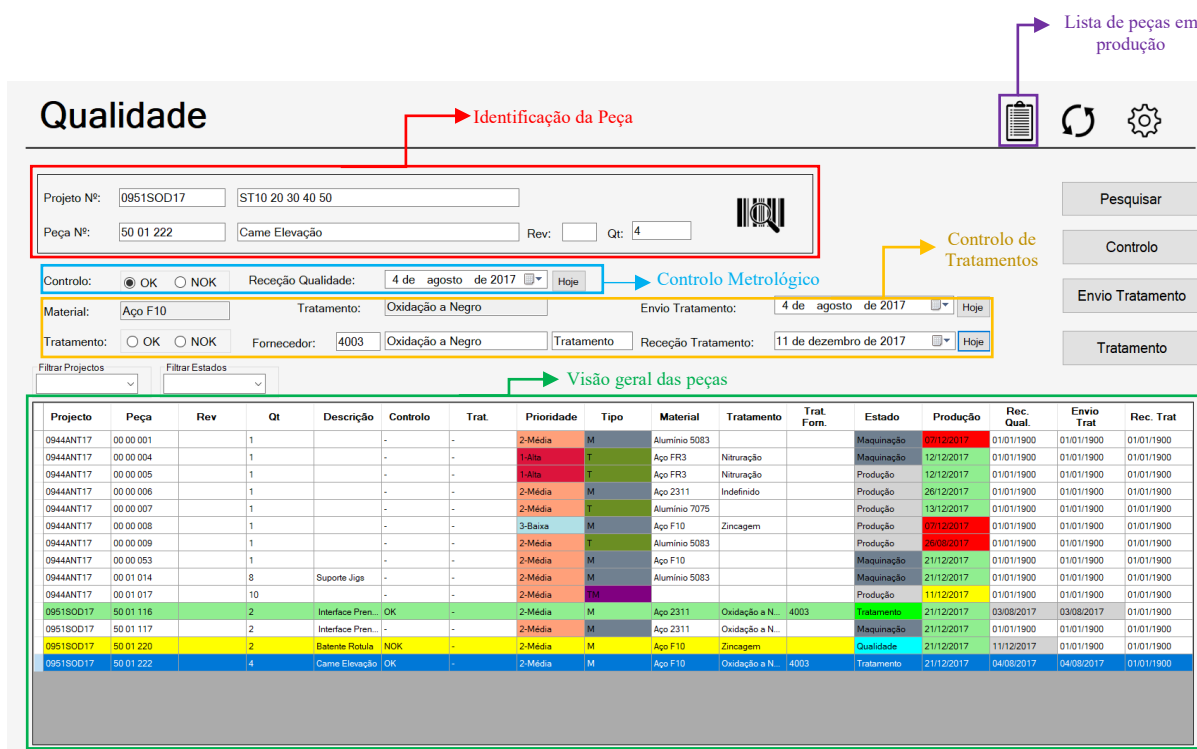


Figura 109 - Painel do Controlo de Qualidade

## Fornecedores

Nesta página são introduzidos e alterados todos os dados dos fornecedores

## Peças em produção



Figura 110 - Pesquisa de uma peça através do código de barras usando um scanner

Nesta página são apresentadas todas as peças que estão na base de dados. Como mostra a Figura 111, peças assinaladas a verde estão concluídas, as a amarelo estão nos tratamentos, as vermelhas estão em maquinação e as castanhas ainda não foram iniciadas.

## Planeamento diário da maquinação

Nesta página é apresentada a distribuição das peças a maquinar pelos equipamentos disponíveis. A distribuição do trabalho na tabela tem em conta a quantidade de peças a produzir, a duração estimada para a sua produção e o momento em que as peças estarão disponíveis para a maquinagem. A Figura 112 mostra o painel de planeamento de produção diário.


Projectos	Local Produção	Estado	Material	Tratamento	Tipo	Prioridade	Filtrar										
Projecto	Peça	Rev	Qt	Descrição	Prioridade	Tipo	Local Prod.	Controlo	Trat.	Material	Tratamento	Estado	Produção	Rec. Qual.	Envio Trat	Rec. Trat	
0944ANT17	00 00 001	1		2-Média	M	Int	-	-	-	Alumínio 5083		Maquinação	07/12/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900	
0944ANT17	00 00 004	1		1-Alta	T	Int	-	-	-	Aço FR3	Nituração	Maquinação	12/12/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900	
0944ANT17	00 00 005	1		1-Alta	T	Int	-	-	-	Aço FR3	Nituração	Produção	12/12/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900	
0944ANT17	00 00 006	1		2-Média	M	Int	-	-	-	Aço 2311	Indefinido	Produção	26/12/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900	
0944ANT17	00 00 007	1		2-Média	T	Int	-	-	-	Alumínio 7075		Produção	13/12/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900	
0944ANT17	00 00 008	1		3-Baixa	M	Int	-	-	-	Aço F10	Zincagem	Produção	07/12/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900	
0944ANT17	00 00 009	1		2-Média	T	Int	-	-	-	Alumínio 5083		Produção	26/08/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900	
0944ANT17	00 00 043	1		2-Média	M	Int	OK	OK	OK	Alumínio 5083		Montagem	21/12/2017	03/08/2017	03/08/2017	03/08/2017	
0944ANT17	00 00 053	1		2-Média	M	Int	-	-	-	Aço F10		Maquinação	21/12/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900	
0944ANT17	00 01 014	8		Suporte Jigs	2-Média	M	Int	-	-	Alumínio 5083		Maquinação	21/12/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900	
0944ANT17	00 01 017	10		2-Média	T	Int	-	-	-			Produção	11/12/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900	
0945ANT17	00 01 014	8		Suporte Jigs	2-Média	M	Int	-	-	Alumínio 5083		Montagem	21/12/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900	
0951SOD17	50 01 116	2		Interface Pre.	2-Média	M	Int	OK	-	Aço 2311	Oxidação a.	Tratamento	21/12/2017	03/08/2017	03/08/2017	01/01/1900	
0951SOD17	50 01 117	2		Interface Pre.	2-Média	M	Int	-	-	Aço 2311	Oxidação a.	Maquinação	21/12/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900	
0951SOD17	50 01 220	2		Bateria Rotula	2-Média	M	Int	NOK	-	Aço F10	Zincagem	Qualidade	21/12/2017	11/12/2017	01/01/1900	01/01/1900	
0951SOD17	50 01 222	4		Came Elevaç.	2-Média	M	Int	OK	-	Aço F10	Oxidação a.	Tratamento	21/12/2017	04/08/2017	04/08/2017	01/01/1900	
0951SOD17	50 01 229	2		2-Média	M	Int	OK	OK	OK	Aço C265	T6 Témpera	Montagem	21/12/2017	01/08/2017	01/08/2017	03/08/2017	
0951SOD17	50 01 231	2		2-Média	M	Int	OK	OK	OK	Aço F10	Zincagem	Montagem	21/12/2017	01/08/2017	01/08/2017	03/08/2017	
0951SOD17	50 01 235	2		2-Média	M	Int	OK	OK	OK	Aço 2311	Nituração	Montagem	21/12/2017	01/08/2017	01/08/2017	03/08/2017	
0951SOD17	50 01 311	2		2-Média	M	Int	OK	OK	OK	Aço F10	Zincagem	Montagem	21/12/2017	01/08/2017	01/08/2017	03/08/2017	
0951SOD17	50 02 018	4		2-Média	M	Int	OK	OK	OK	Aço F10	Zincagem	Montagem	21/12/2017	01/08/2017	01/08/2017	03/08/2017	
0951SOD17	50 02 112	1		placa gaveta	2-Média	M	Int	OK	OK	Aço C265	T6 Témpera	Montagem	21/12/2017	01/08/2017	01/08/2017	03/08/2017	
0951SOD17	50 03 313	6		3-Média	M	Int	OK	OK	OK	Aço C265	T6 Témpera	Montagem	21/12/2017	03/08/2017	03/08/2017	11/12/2017	

Figura 111 - Painel de peças em produção

	Haas TM1-P	Haas VF2-SS	Haas VF3	Haas VF8	Haas TL1	Torno Mecânico	Fresa Convencional	Retificadoras
7:00	0951SOD17 50 01 220	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	-	0951SOD17 50 01 235	-	-	-
7:30	0951SOD17 50 01 220	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	-	0951SOD17 50 01 235	-	-	-
8:00	0951SOD17 50 01 220	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	-	0951SOD17 50 01 235	-	-	-
8:30	0951SOD17 50 01 220	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	-	0951SOD17 50 01 235	-	-	-
9:00	-	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	-	0944ANT17 00 00 001	-	-	-
9:30	-	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	-	0944ANT17 00 00 001	-	-	-
10:00	-	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	-	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
10:30	-	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	-	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
11:00	-	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	-	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
11:30	-	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	-	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
12:00	-	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	-	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
12:30	-	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	-	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
13:00	-	0944ANT17 00 01 017	-	-	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
13:30	-	0944ANT17 00 01 017	-	-	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
14:00	-	0944ANT17 00 01 017	-	-	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
14:30	-	0944ANT17 00 01 017	-	-	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
15:00	-	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
15:30	-	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
16:00	-	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
16:30	-	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
17:00	-	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
17:30	0951SOD17 50 02 212	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
18:00	0951SOD17 50 02 212	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	-
18:30	0951SOD17 50 02 212	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	-
19:00	0951SOD17 50 02 212	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	-
19:30	0951SOD17 50 02 212	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	-
20:00	0951SOD17 50 02 212	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	-
20:30	-	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	-
21:00	-	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	-
21:30	-	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	-
22:00	-	0944ANT17 00 01 017	-	-	-	-	-	-
22:30	-	0944ANT17 00 01 017	-	-	-	-	-	-

Figura 112 - Painel de planeamento diário da maquinaria

#### 5.4.4. Discussão

Esta aplicação desenvolvida possibilita rastrear as peças em produção, estado e histórico das peças.

A calendarização da produção, apesar de ser uma característica com bastante interesse para o aumento da produtividade da empresa não era o objetivo inicial pretendido com o desenvolvimento desta aplicação. No entanto esta característica foi desenvolvida usando os parâmetros introduzidos na aplicação de controlo e rastreamento das peças durante as várias etapas de produção. A calendarização da produção que esta aplicação, neste momento, oferece é baseada na metodologia *FISFS (First in System First Served)*, em que a primeira peça a ser introduzida no sistema é a primeira a ser planeada e todas as peças seguintes que são introduzidas no sistema, sujeitam-se sempre ao planeamento já definido pelas peças anteriormente introduzidas no sistema.

A escolha deste método de calendarização prendeu-se com a maior facilidade de implementação, relativamente a outros métodos disponíveis. Todos os outros métodos seguem algoritmos que têm em conta vários fatores (tempo de produção, disponibilidade de recursos, data de conclusão prevista, entre outros), e devem ser recalculados sempre que algum desses parâmetros é alterado, o que requer um processo de cálculo mais complexo e que não é, para já, o mais importante.

Após a introdução da aplicação na fábrica e a criação de um servidor, a aplicação foi testada inicialmente no setor do planeamento, posteriormente no controlo de qualidade e tratamentos térmicos/superficiais, e, por último no setor da maquinaria. Apesar de ter sido necessário efetuar algumas alterações na aplicação, quer ao nível de comunicação com a base de dados (devido à incompatibilidade dos formatos de datas e horas que a interface utiliza com os formatos utilizados pela base de dados), quer ao nível da disposição dos comandos nas páginas da interface, a aplicação foi testada com sucesso. Nesta fase a aplicação permitiu localizar, consultar o estado de produção e a criação do histórico de todas as operações

necessárias para a execução da peça em qualquer computador que tenha a aplicação instalada e esteja ligado à rede onde a base de dados está criada.

Apesar da aplicação ter sido testada com sucesso, todas as peças têm de ser criadas manualmente na página de planeamento para que a peça esteja na base de dados. Este processo, em projetos com um elevado número de peças não é expedito e tem de ser realizado todo de forma manual.

A forma encontrada para agilizar a criação e introdução de peças novas no sistema, passa pela criação de uma rotina que seja capaz de ler e importar uma tabela fornecida ao gabinete de planeamento quando o projeto é aprovado para execução, contendo todas as peças a produzir e seus atributos. No entanto o modelo e o método de criação desta tabela ainda não foi definido pelo departamento de projeto mecânico, impossibilitando a integração desta característica na aplicação. Foi adicionado uma janela, que aparece sempre que se deseja iniciar a maquinação de uma peça que não exista no sistema (necessita que o projeto esteja definido no sistema), e que permite a criação de uma peça de uma forma mais simples e bastante rápida, como é possível ver na Figura 113. Este método de introdução preenche automaticamente os campos referentes ao código peça, revisão e quantidade, assumindo nos restantes campos um valor predefinido. No entanto, caso se pretende, é possível alterar os valores predefinidos nos parâmetros de descrição da peça, material e tratamento térmico/superficial por outros valores que o utilizador pretenda. Desta forma, apesar da peça não estar completamente definida, é possível acompanhar o processo de produção da peça, assim como a criação do seu histórico de produção.

**Máquinação - Inserir Peça**

**Inserir Peça**

**Projecto:** 0000AAA00

**Peça:** 00 00 001

**Rev:**  **Qt:** 1

**Descrição:** Descrição da Peça

**Material:** Indefinido

**Tratamento** Indefinido

Operações Peça

☒ Máquina

☐ Torno

☐ Torno + Máquina

**Inserir**

Cancelar

Figura 113 - Janela de introdução rápida de peças não existentes no sistema



## 6. Conclusões e trabalhos futuros

A realização deste estágio curricular tinha como objetivo a criação e o desenvolvimento de métodos de trabalho com vista a aumentar a produção com a tecnologia CNC, ao mesmo tempo que era efetuado o primeiro contacto com a realidade industrial.

Apesar de não ter sido possível obter melhorias no tempo de execução das peças nos três casos de estudo de maquinagem, estes permitiram abranger uma gama bastante grande de peças possíveis de realizar com tecnologia CNC. Além disto, no caso de estudo nº3 foi possível a introdução de uma nova técnica de fixação na empresa, com o uso dos mordentes maquináveis. Esta técnica diminuiu consideravelmente o tempo necessário para a produção da peça e demonstrou o potencial de otimização do processo de produção que pode trazer na produção de pequenas séries de peças com geometrias exteriores que impossibilitam uma correta fixação da peça nas prensas de aperto comuns.

Durante o estágio curricular foi ainda possível perceber a importância do *know-how*, especialmente numa área onde são realizadas séries únicas, ou pequenas séries, e se procura a correta execução das peças à primeira vez. É muitas vezes mais importante garantir a fiabilidade do processo do que a sua otimização. Este *know-how* aliado aos conhecimentos adquiridos ao longo de todo o percurso académico permite uma melhor adequação de métodos e processos que incrementarão o rendimento da produção da empresa.

Relativamente à aplicação informática, apesar de não terem sido realizadas todas as alterações após a o teste realizado na fábrica, esta ficou a funcionar de forma correta e fiável, permitindo o controlo e registo de produção que até este momento não era possível na empresa. Fica ainda disponível para o futuro o desenvolvimento da aplicação com vista à inclusão das funcionalidades anteriormente discutidas para simplificar o seu funcionamento.

Concluindo, os objetivos pretendidos com a realização deste estágio podem ser considerados como atingidos. Foram adquiridos conhecimentos de maquinagem com a tecnologia CNC, metrologia, preparação e controlo de trabalho no setor da maquinação e produção.

# Bibliografia

- [1] J. P. Davim, *Princípios da maquinagem*. 2008.
- [2] J. P. Davim, *Machining - Fundamentals and Recent Advances*. London, UK, 2008.
- [3] S. Coromat, «Tool Wear». [Em linha]. Disponível em: [https://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/general\\_turning/troubleshooting-/pages/default.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/general_turning/troubleshooting-/pages/default.aspx). [Acedido: 09-Ago-2017].
- [4] J. P. Davim, «Maquinabilidade de materiais compósitos: Análise experimental», 2005.
- [5] W. Grzesik, *Advanced Machining Processes of Metallic Materials - Theory, Modelling and Applications*, 1.<sup>a</sup> ed. Oxford, UK, 2008.
- [6] Sandvik, *Sandvik Metal Cutting Technology Training Handbook*. 2016.
- [7] A. K. Srivastava e M. E. Finn, «Machining Cast Iron Components». [Em linha]. Disponível em: <http://www.afsinc.org/multimedia/contentMC.cfm?ItemNumber=11371>. [Acedido: 25-Abr-2017].
- [8] C. Relvas, *Controlo Numérico Computorizado - Conceitos Fundamentais*, 3.<sup>a</sup> ed. Porto, Portugal, 2012.
- [9] CNCCookbook, «Lathe Workholding». [Em linha]. Disponível em: <http://www.cnccookbook.com/MTLatheWorkHolding.htm>. [Acedido: 30-Mai-2017].
- [10] A. Chevalier e J. Bohan, *Guide du technicien en productique*, 2.<sup>a</sup>. Paris, France: HACHETTE Technique, 1998.
- [11] A. Completo, A. Festas, e J. P. Davim, *Tecnologia de fabrico*. Porto, Portugal, 2009.
- [12] S. F. Krar e A. F. Check, *Technology of Machine Tools*, 5.<sup>a</sup> ed. Westerville, OH, 1997.
- [13] Sandvik, «Corodril 880». [Em linha]. Disponível em: [http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/products/corodril\\_880/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/products/corodril_880/pages/default.aspx). [Acedido: 17-Jun-2017].
- [14] Sandvik, «Faceamento Geral». [Em linha]. Disponível em: [http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/milling/application\\_overview/face\\_milling/general\\_face\\_milling](http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/milling/application_overview/face_milling/general_face_milling). [Acedido: 19-Jun-2017].
- [15] Sandvik, «Reaming». [Em linha]. Disponível em: [http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/reaming/tolerance\\_limits/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/reaming/tolerance_limits/pages/default.aspx). [Acedido: 20-Jun-2017].
- [16] Sandvik, «Rosqueamento com macho». [Em linha]. Disponível em: <http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/threading/tapping/Pages/default.aspx>. [Acedido: 21-Jun-2017].
- [17] MachiningCloud, «Introduction to Turning Tools and their Application», 2016.
- [18] CNCCookbook, «Guide to select toolholders for milling». [Em linha]. Disponível em: <http://blog.cnccookbook.com/2013/12/02/ultimate-guide-selecting-toolholders-milling/>. [Acedido: 24-Jun-2017].
- [19] S. H. Suh, S. K. Kang, D. H. Chung, e I. Stroud, *Theory and Design of CNC System*. 2008.
- [20] M. M. Shop, «Micron-Tolerance Machining Means Never Looking Back», 2016. [Em linha]. Disponível em: <http://www.mmsonline.com/articles/micron-tolerance-machining-means-never-looking-back>. [Acedido: 16-Jul-2017].
- [21] CNCCookbook, «CNC 4th Axis Basics: What They Can Do», 2013. [Em linha]. Disponível em:

- <http://blog.cnccookbook.com/2013/04/08/cnc-4th-axis-introduction/>. [Acedido: 28-Jul-2017].
- [22] M. M. Shop, «An Overview Of 3 + 2 Machining», 2006. [Em linha]. Disponível em: <http://www.mmsonline.com/articles/an-overview-of-3-2-machining>. [Acedido: 04-Jul-2017].
- [23] Mazak, «Full 5-axis or 3 + 2 Machining: Which is Right for You?» [Em linha]. Disponível em: <https://www.mazakusa.com/news-events/blog/full-5-axis-or-3-2-machining-which-is-right-for-you/>. [Acedido: 04-Jul-2017].
- [24] Okuma, «Vertical Turning: Myths vs. Reality». [Em linha]. Disponível em: <https://www.okuma.com/blog-vertical-turning-myths-vs-reality>. [Acedido: 21-Ago-2017].
- [25] CNCCookbook, «C-Axis Turning and Live Tooling: Turning and Milling on One Machine». [Em linha]. Disponível em: <https://www.cnccookbook.com/c-axis-turning-and-live-tooling-turning-and-milling-on-one-machine/>. [Acedido: 22-Ago-2017].
- [26] C. MetalWorking, «Understanding Two-spindle Turning Technology», 2011. [Em linha]. Disponível em: <http://www.canadianmetalworking.com/article/metalworking/understanding-two-spindle-turning-technology>. [Acedido: 20-Ago-2017].
- [27] T. M. World, «How It Works – Why Swiss?», 2009. [Em linha]. Disponível em: <http://todaysmachiningworld.com/magazine/how-it-works-why-swiss/>. [Acedido: 16-Ago-2017].
- [28] M. M. Shop, «Understanding Swiss-Type Machining», 2013. [Em linha]. Disponível em: <https://www.mmsonline.com/articles/understanding-swiss-type-machining>. [Acedido: 16-Ago-2017].
- [29] Siemens, «CAM / Computer-Aided Manufacturing». [Em linha]. Disponível em: <https://www.plm.automation.siemens.com/pt/plm/cam.shtml>. [Acedido: 08-Set-2017].
- [30] Mitutoyo, «Mitutoyo CMM Accuracy Statements». [Em linha]. Disponível em: <http://www.mitutoyo.com/wp-content/uploads/2016/09/L-section-CMM.pdf>. [Acedido: 03-Out-2017].
- [31] Mitutoyo, «Blocos Padrão para Medição». [Em linha]. Disponível em: [http://www.mitutoyo.com.br/novosite/download/02folhetos/08 calibra/Blocos Padrão para calibração\\_Mitutoyo.pdf](http://www.mitutoyo.com.br/novosite/download/02folhetos/08%20calibra/Blocos%20Padr%C3%A3o%20para%20calibra%C3%A7%C3%A3o_Mitutoyo.pdf). [Acedido: 06-Set-2017].
- [32] Uddeholm, «UDDEHOLM SVERKER 21», 2014. [Em linha]. Disponível em: [http://www.uddeholm.com/files/PB\\_Uddeholm\\_sverker\\_21\\_english.pdf](http://www.uddeholm.com/files/PB_Uddeholm_sverker_21_english.pdf). [Acedido: 06-Ago-2017].
- [33] R. Aços, «Aço FR3», 2016. [Em linha]. Disponível em: [http://www.ramada.pt/pt/produtos/acos/aa-os-de-construa-ao-ligados/fr-3\\_.html](http://www.ramada.pt/pt/produtos/acos/aa-os-de-construa-ao-ligados/fr-3_.html). [Acedido: 07-Set-2017].
- [34] Jergens, «Ball Lock». [Em linha]. Disponível em: [http://www.jergensinc.com/Content/Images/uploaded/BL\\_cutawayLG.jpg](http://www.jergensinc.com/Content/Images/uploaded/BL_cutawayLG.jpg). [Acedido: 29-Mai-2017].
- [35] Fastenal, «V-Block». [Em linha]. Disponível em: [https://img0.fastenal.com/productimages/0324802\\_hr1c.jpg](https://img0.fastenal.com/productimages/0324802_hr1c.jpg). [Acedido: 28-Mai-2017].
- [36] CNCCookbook, «Softjaws». [Em linha]. Disponível em: <http://www.cnccookbook.com/img/CNCCookbook/PartFlipJaws.jpg>. [Acedido: 29-Mai-2017].
- [37] Mmsonline, «Cycle Efficiency». [Em linha]. Disponível em: [http://d2n4wb9orp1vta.cloudfront.net/resources/images/cdn/cms/mms\\_0911\\_cycleefficiency\\_2B.jpg](http://d2n4wb9orp1vta.cloudfront.net/resources/images/cdn/cms/mms_0911_cycleefficiency_2B.jpg). [Acedido: 29-Mai-2017].

- [38] CNCCookbook, «Magnetic Table». [Em linha]. Disponível em:  
[http://img.directindustry.com/images\\_di/photo-g/23323-3163959.jpg](http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/23323-3163959.jpg). [Acedido: 29-Mai-2017].
- [39] CNCCookbook, «Vacuum Table». .
- [40] «5c collet». [Em linha]. Disponível em: [http://www.micro-machine-shop.com/chuck\\_5C\\_collet\\_2.jpg](http://www.micro-machine-shop.com/chuck_5C_collet_2.jpg). [Acedido: 30-Mai-2017].
- [41] Brassinter, «Insertos Torneamento». [Em linha]. Disponível em:  
[http://www.brassinter.com.br/downloads/pastilhas\\_torneamento.pdf](http://www.brassinter.com.br/downloads/pastilhas_torneamento.pdf). [Acedido: 23-Jun-2017].

# **ANEXOS**

# I. Graus de tolerância normalizados - Simões Morais(p.183)

TOLERÂNCIAS FUNDAMENTAIS ISO - PEÇAS LISAS																				
Dim.nom.	Tolerâncias em $\mu\text{m}$													Tolerâncias em mm						
em mm	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
de 0 a 1	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14					
>1 a 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1,0	1,4
>3 a 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,30	0,48	0,75	1,2	1,8
>6 a 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
>10 a 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	0,11	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
>18 a 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	0,13	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
>30 a 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	0,1	0,16	0,25	0,39	0,62	1,0	1,6	2,5	3,9
>50 a 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	0,12	0,19	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3,0	4,6
>80 a 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	0,14	0,22	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
>120 a 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3
>180 a 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	0,115	0,185	0,29	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2
>250 a 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	0,13	0,21	0,32	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1
>315 a 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	0,14	0,23	0,36	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9
>400 a 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	0,155	0,25	0,40	0,63	0,97	1,55	2,5	4,0	6,3	9,7
>500 a 630			9	11	16	22	32	44	70	0,11	0,175	0,28	0,44	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11
>630 a 800			10	13	18	25	36	50	80	0,125	0,2	0,32	0,5	0,8	1,25	2,0	3,2	5	8	12,5
>800 a 1000			11	15	21	28	40	56	90	0,14	0,23	0,36	0,56	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14
>1000 a 1250			13	18	24	33	47	66	0,105	0,165	0,26	0,42	0,66	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5
>1250 a 1600			15	21	29	39	55	78	0,125	0,195	0,31	0,5	0,78	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5
>1600 a 2000			18	25	35	46	65	92	0,15	0,23	0,37	0,6	0,92	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23
>2000 a 2500			22	30	41	55	78	0,11	0,175	0,28	0,44	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28
>2500 a 3150			26	36	50	68	96	0,135	0,21	0,33	0,54	0,86	1,35	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33
	em $\mu\text{m}$							tolerâncias em mm												
EXACTIDÃO	Alta exactidão							Const. Mec.-ajustamentos					Const. corrente: fina   média   gros.   muito grosseira							
VERIFICAÇ.	Medição- aferição							Controlo-calibres					Medição (micrómetro, paquímetro, etc.)							
MAQUINAG.	Super acabamento							Máquinas ferramentas correntes							Laminagem, Trefilagem, Forjagem, etc.					
FUNÇÃO	Estanque.móvil. <sup>12</sup> preciso							Centrag.; contact. móveis			Contactos fixos		Superfícies brutas sem contacto							
APLICAÇÃO	Aparelhos de medida							Ajustamentos- dimensões funcionais							Dimensões não funcionais					

Fig. 28- TABELA - I - VALORES NUMÉRICOS DOS GRAUS DE TOLERÂNCIA NORMALIZADOS

## II. Relação de tolerâncias e rugosidades - Simões Morais(p.233)

.6.2- Quadro geral (rugosidades - tolerâncias dimensionais e geométricas - maquinagem - função)

FUNÇÕES		Superfícies sem contacto		Superfícies s/ ou c/ contacto fixo		Superf. para contacto de pequena velocidade Centragem		Superfícies para contacto com movimento de grande velocidade. Estantidade							
RUGOSIDADE		em bruto		superfícies maquinadas:											
acabamento de superfície															
símbolos antigos															
desvio médio aritmético $R_a$ $\mu m$		50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025		
profundidade média $R_z$ $\mu m$		160	80	40	16	10	6,3	3,15	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1		
classes $N \rightarrow$		N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1		
TOLER. DIMENSIONAIS $R_a \rightarrow$		50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025		
Arestas abatidas		dimensões		CLASSES DE TOLERÂNCIAS GERAIS:								PARA AJUSTAMENTOS		MUITO ALTA EXACTIDÃO	
Chantros $c$		$\leq 3$													
Arredondados $R$		$>3 \dots 6$													
$c$ $R$ fra. f. média m. grossa c. v.		$>6 \dots 30$													
0,5...3 $\pm 0,2$ $\pm 0,4$		$>30 \dots 120$													
$>3...6$ $\pm 0,5$ $\pm 1$		$>120 \dots 400$													
$>6$ $\pm 1$ $\pm 2$		$>400 \dots 1000$													
		$>1000 \dots 2000$													
		$>2000 \dots 3150$													
TOLER. GEOMÉTRICAS $R_a \rightarrow$		50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025		
de forma $T_e$ $T_o$ $T_k$				0,6		0,3		0,1				0,04 mm / m			
				0,5		0,2		/78				/75			
				1		0,5		0,2 mm / m							
de orientação $T_{\perp}$ $T_{\parallel}$ $T_{\angle}$				1		0,5		0,2				0,08 mm / m			
de posição $T_{\oplus}$ $T_{\ominus}$ $T_{\ominus}$															
MAQUINAGEM $R_a \rightarrow$		50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025		
to torneamento - cilíndrico															
- de facejar															
fr fresagem - cilíndrica e de topo															
rb aplainamento - plana															
- limador															
pe furagem com broca															
al mandrilamento de furos															
escareamento e rebaixamento															
br brochamento (escatelamento)															
roc rectificação - cilíndrica															
- de face															
- de ranhuras															
rcp rectificação plana- de contorno															
- de topo															
po polimento															
sf super-acabamento															
lapidação															
honing															
maquinagem por ultra sons															
brunimento															
gn jacto de areia ou de esferas															
fo TRANSFORMAÇÃO -															
la forjagem - laminagem															
et - estragem															
es - estampagem															
mos FUNDIÇÃO - em areia															
- em carapaça															
moc - em coquilha															
- injectada															
- em cera perdida															
PRECISÃO $\rightarrow$		Grosseira		Média		Fina									

Fig. 39- Quadro IV; relaciona tolerâncias e rugosidade com aproximação aceitável para os exercícios a fazer.

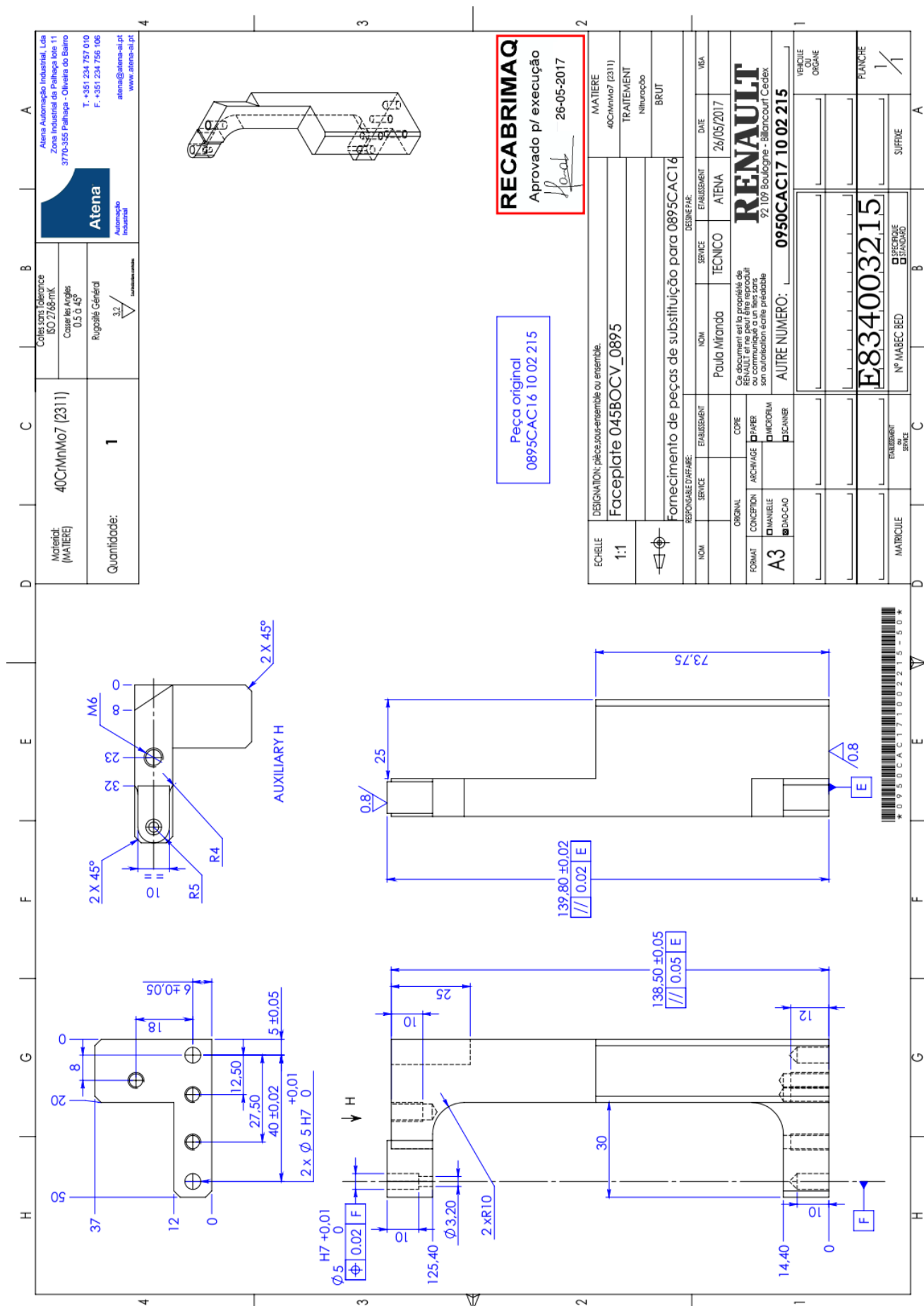


### III. Processos particulares - tratamentos térmicos

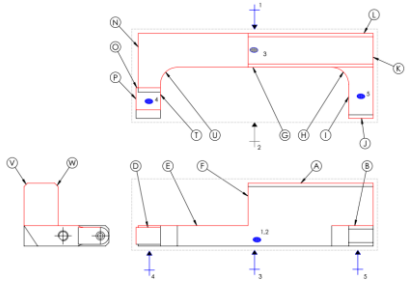
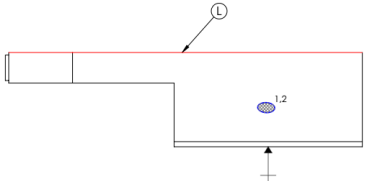

EXEMPLES	APPLICATIONS
<p><b>Pièces trempées par induction</b></p> <p>La pièce est chauffée puis refroidie dans un temps très court. Les déformations sont très faibles.</p> <p>1° Ébauche et finition des surfaces de qualité <math>\geq IT6</math>, ébauche et demi-finition des surfaces plus précises.</p> <p>4° Trempe et revenu.</p> <p>3° Finition par rectification ou rodage des surfaces de qualité <math>&lt; IT6</math>.</p>	<p>1/2 finition et Finition      Trempe      Finition</p>
<p><b>Carbonitruration</b></p> <p>Gamme analogue à celle de la cémentation.</p> <p>Profondeur de la couche carburée : 0,7 max.</p> <p>Réserves de protection par dépôt de cuivre.</p> <p>Surépaisseur avant rectification : 0,1 env.</p> <p>Finition possible, avant carbonitruration des surfaces de qualité <math>&gt; IT9</math>.</p>	<p>Avant carbonitruration</p> <p>Après carbonitruration trempe et finitions</p>
<p><b>Cyanuration</b></p> <p>Gamme analogue à celle de la cémentation.</p> <p>Réserves de protection par dépôt de chrome.</p>	<p>Avant sulfinition</p> <p>Après sulfinition</p>
<p><b>Sulfinition</b></p> <p>Traitement pour pièces travaillant au frottement. Il ne provoque pratiquement qu'un léger gonflement des pièces.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Si la surface reste brute de traitement, on prévoit dans le calcul des cotes de fabrication un gonflement de 0,01 environ.</li> <li>■ S'il est nécessaire d'effectuer une rectification après traitement, on prévoit une surépaisseur de 0,03.</li> <li>■ L'épaisseur de la couche sulfidée est de 0,3 env.</li> </ul>	<p>Avant nitruration</p> <p>Après nitruration et finitions</p>
<p><b>Nitruration</b></p> <p>Ce traitement permet de durcir les surfaces d'une pièce sans procéder à une trempe.</p> <p>Les déformations sont très faibles.</p> <p>Réserves de protection éventuelle par dépôt d'étain.</p> <p>1° Ébauche et finition des surfaces de qualité <math>\geq IT7</math>, ébauche et demi-finition des surfaces plus précises.</p> <p>2° Nitruration.</p> <p>3° Finition par rectification ou rodage des surfaces de qualité <math>&lt; IT7</math>.</p>	<p>Avant nitruration</p> <p>Après nitruration et finitions</p>

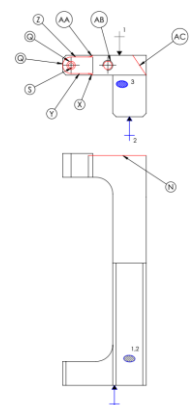



#### IV. Desenho Técnico – Caso de Estudo 1

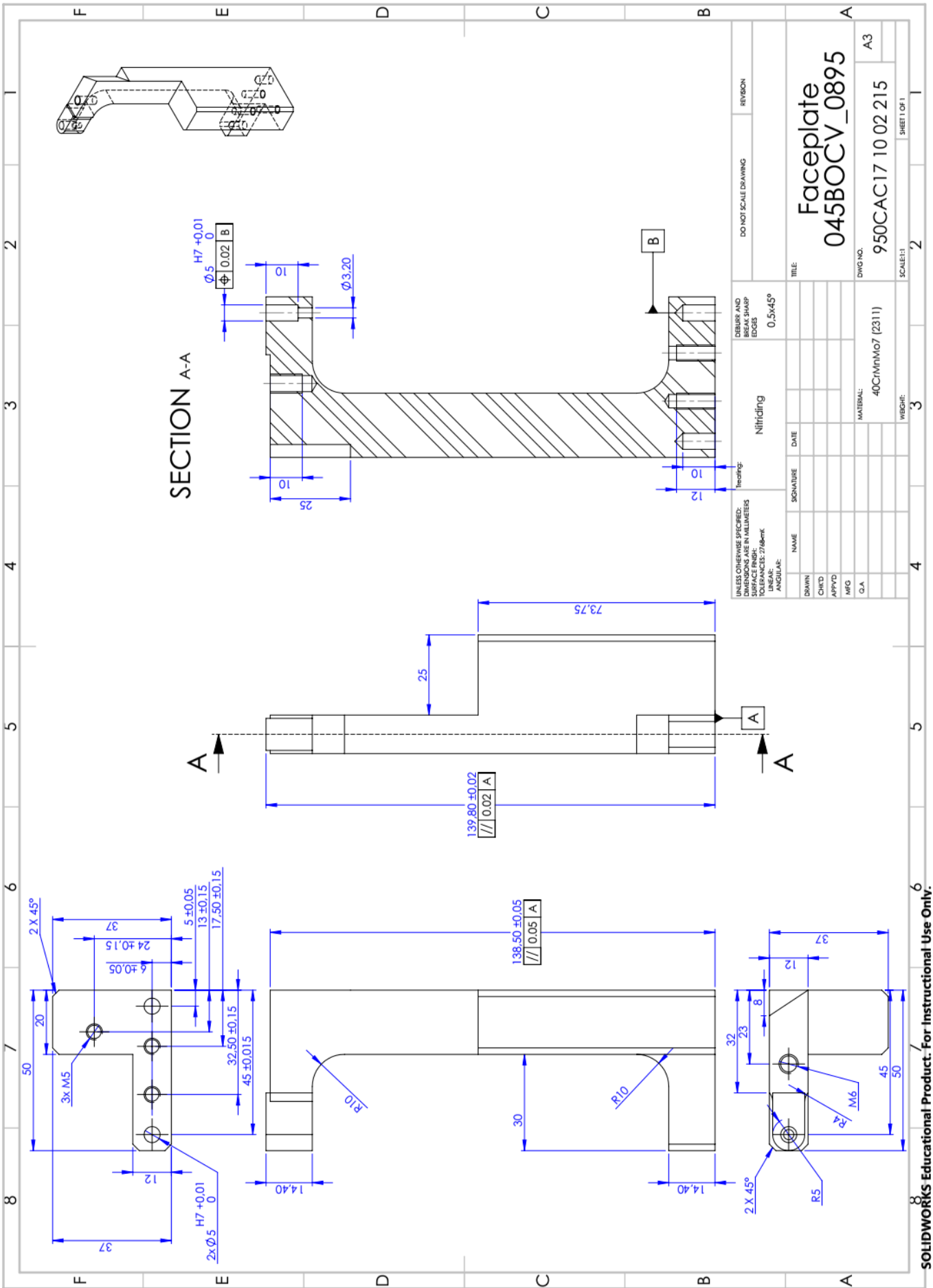


## V. Sequência Maquinagem – Caso de Estudo 1

Sequência de maquinagem		
<b>Projecto:</b> 950CAC17	<b>Peça:</b> 10 02 215	<b>Material</b> – EN 40CrMnMo7 (2311)
<b>Responsável:</b> Simão Lopes		<b>Data:</b> 22/09/2017
<b>Fase 10</b>		
<b>Máquina:</b> HAAS VF2-SS		
Operações	Ferramentas	Desenhos + Isostatismo
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Facejamento de A</li> <li>– Desbaste de B, D, G, H, I, J, K, L, N, O, P, R, T, U, X, Y</li> <li>– Desbaste de E, F</li> <li>– Chanframento de AI, AJ</li> <li>– Acabamento de G, H, I, J, K, L, N, P, R, T, U</li> <li>– Acabamento de E, F</li> <li>– Acabamento de B</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ferramenta de facejamento com insertos de carboneto</li> <li>– Fresa de Navalhas de Carboneto para desbaste Ø16</li> <li>– Chanfrador</li> <li>– Fresa de Navalhas de Carboneto para acabamento Ø16</li> </ul>	
<b>Fase 20</b>		
<b>Máquina:</b> HAAS VF2-SS		
Operações	Ferramentas	Desenhos + Isostatismo
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Desbaste de L</li> <li>– Acabamento de L</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ferramenta de facejamento com insertos de carboneto</li> </ul>	
<b>Fase 30</b>		
<b>Máquina:</b> HAAS VF2-SS		
Operações	Ferramentas	Desenhos + Isostatismo
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Furação Q</li> <li>– Furação S</li> <li>– Desbaste de AC</li> <li>– Desbaste de N, O</li> <li>– Desbaste X,Y,R,Z,AA</li> <li>– Acabamento AC</li> <li>– Acabamento N,O</li> <li>– Acabamento X,Y,R,Z,AA</li> <li>– Acabamento S</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Broca Helicoidal de carboneto Ø4,80</li> <li>– Broca Helicoidal de carboneto Ø3,20</li> <li>– Fresa de Navalhas de Carboneto para DESBASTE Ø16</li> <li>– Fresa de Navalhas de Carboneto para acabamento Ø4</li> <li>– Fresa de Navalhas de Carboneto para acabamento Ø16</li> </ul>	
<b>Fase 40</b>		
<b>Máquina:</b> HAAS VF2-SS		
Operações	Ferramentas	Desenhos + Isostatismo

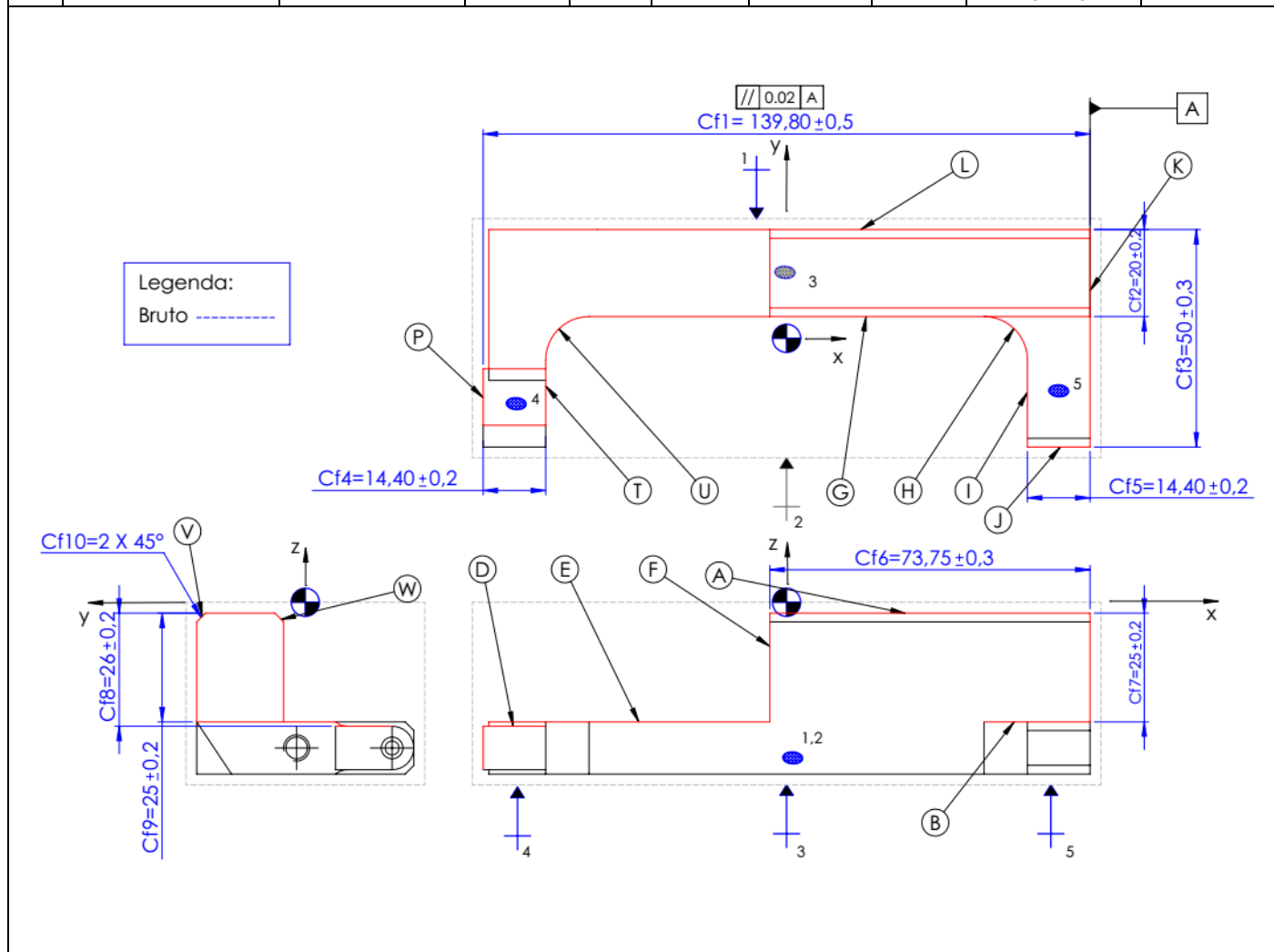
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Furação AD, AF, AG</li> <li>– Furação AE, AH</li> <li>– Mandrilagem AE, AH</li> <li>– Acabamento de AI, AJ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Broca Helicoidal de carboneto Ø4,20</li> <li>– Broca Helicoidal de carboneto Ø4,80</li> <li>– Mandril de carboneto Ø5H7</li> <li>– Fresa de Navalhas de Carboneto para acabamento Ø16</li> </ul>	
<b>Fase 50</b> <b>Máquina: Roscamat 200</b>		
<b>Operações</b>	<b>Ferramentas</b>	<b>Desenhos + Isostatismo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Roscagem das roscas AD, AF, AG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Macho M5x0,8</li> </ul>	
<b>Fase 60</b> <b>Máquina: Roscamat 200</b>		
<b>Operações</b>	<b>Ferramentas</b>	<b>Desenhos + Isostatismo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Roscagem das roscas AB</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Macho M6x1,0</li> </ul>	

## VI. Cotagem de Fabrico – Caso de Estudo 1



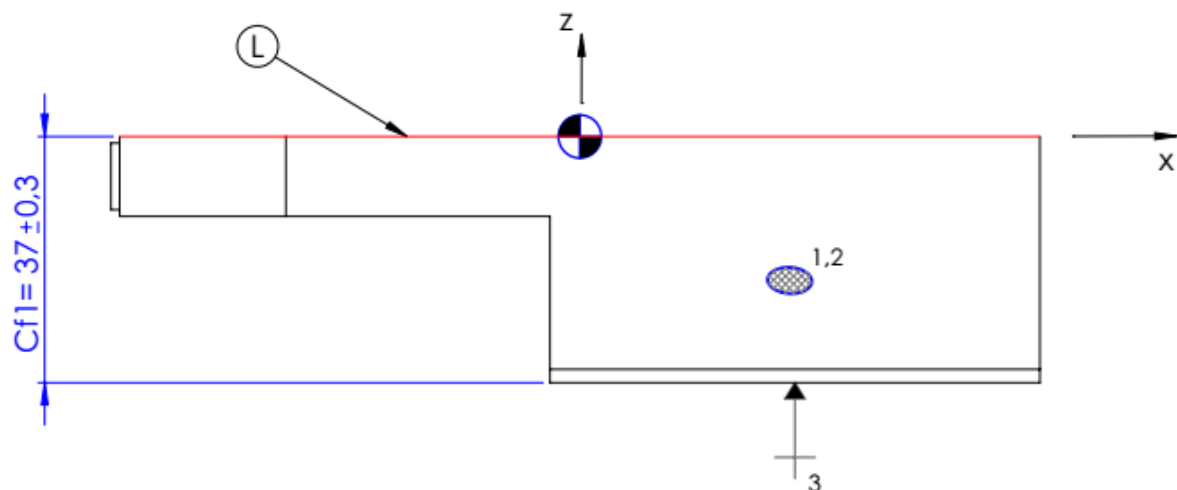
## VII. Fichas de Fase – Caso de Estudo 1

Ficha de Fase									
Fase nº: 10			Máquina: HAAS VF2-SS					Sector: Torneamento	
Projecto: 0950CAC17									
Peça: 10 02 215			Dispositivo de Aperto: Prensas de aperto com calços calibrados					Página 111 de 159	
Material: EN 40CrMnMo7								Data: 08/01/2018	
Cadência: 1 peça								Responsável: Simão Lopes	
Operações de maquinagem			Dados de corte					Ferramentas	
Nº	Ref	Designação	Vc [m/min]	n [rpm]	f [mm/z]	Vf [mm/min]	Ap [mm]	Maquinagem	Controlo
1	A	Facejamento em Desbaste	160	980	0,4	1959	0,5	Fresa com insertos Ø52 Z=5	Paquímetro
2	B,D,G,H,I,J,K,L,N,O,P,R,T,U,V,W,X,Y	Desbaste	200	4000	0,145	2885	Ap=37 Ac=0,7	Fresa MD Ø16 Z=5	Paquímetro
3	E,F	Desbaste	200	4000	0,145	2885	Ap=25 Ac=0,7	Fresa MD Ø16 Z=5	Paquímetro
4	I,J	Quebra aresta	151	3000	0,054	650	Ap=1 Ac=0,5	Chanfrador	Paquímetro
5	V,W	Chanfro 2x45°	151	3000	0,054	650	Ap=1 Ac=0,5	Chanfrador	Paquímetro
6	G,H,I,J,K,L,P,R,T,U	Acabamento	100	2652	0,066	700	Ap=37 Ac=0,1	Fresa MD Ø12 Z=4	Paquímetro
7	E,F	Acabamento	100	2652	0,066	700	Ap=37 Ac=0,1	Fresa MD Ø12 Z=4	Paquímetro
8	B,G	Acabamento	100	2652	0,066	700	Ap=37 Ac=0,1	Fresa MD Ø12 Z=4	Paquímetro
9	A	Acabamento	160	980	0,2	980	0,25	Fresa com insertos Ø52 Z=5	Paquímetro



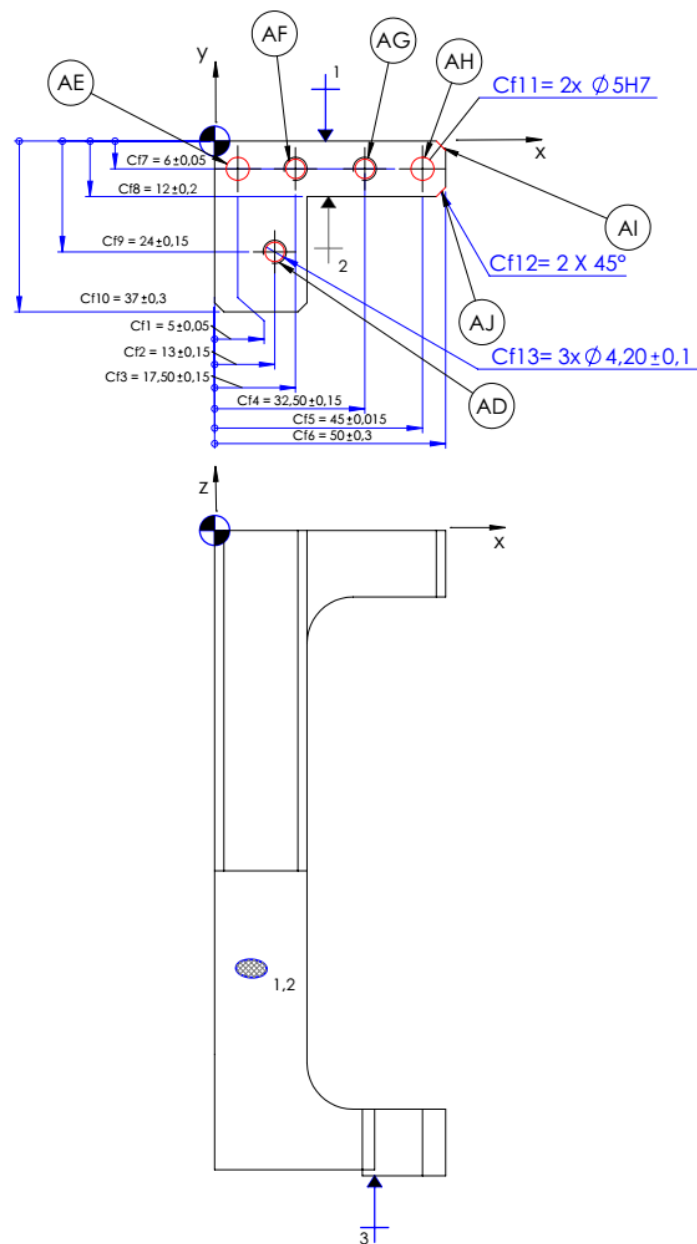
## Ficha de Fase

<b>Fase nº:</b> 20			<b>Máquina:</b> HAAS VF2-SS					<b>Sector:</b> Torneamento	
<b>Projecto:</b> 0950CAC17									
<b>Peça:</b> 10 02 215			<b>Dispositivo de Aperto:</b> Prensas de aperto com calços calibrados					<b>Página</b> 112 de 159	
<b>Material:</b> EN 40CrMnMo7								<b>Data:</b> 08/01/2018	
<b>Cadência:</b> 1 peça								<b>Responsável:</b> Simão Lopes	
<b>Operações de maquinagem</b>			<b>Dados de corte</b>					<b>Ferramentas</b>	
<b>Nº</b>	<b>Ref</b>	<b>Designação</b>	<b>Vc</b> [m/min]	<b>n</b> [rpm]	<b>f</b> [mm/z]	<b>Vf</b> [mm/min]	<b>Ap</b> [mm]	<b>Maquinagem</b>	<b>Controlo</b>
1	L	Desbaste	160	980	0,4	1959	0,5	Fresa com insertos Ø52 Z=5	Paquímetro
2	L	Acabamento	160	980	0,2	980	0,25	Fresa com insertos Ø52 Z=5	Paquímetro



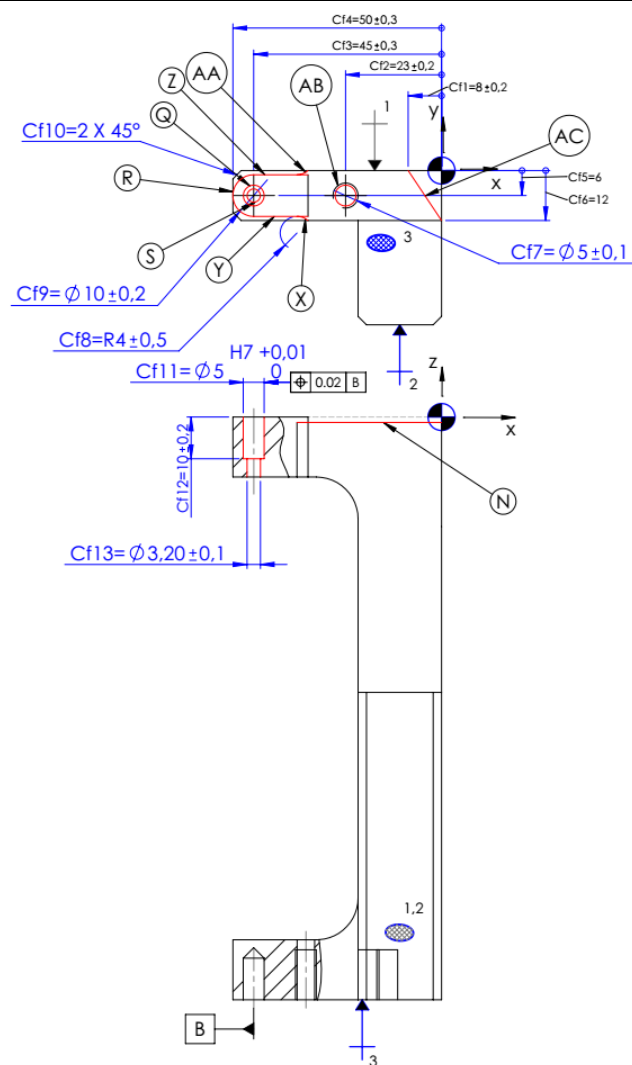
## Ficha de Fase

Fase nº: 30			Máquina: HAAS VF2-SS					Sector: Maquinação	
Projecto: 0950CAC17									
Peça: 10 02 215			Dispositivo de Aperto: Prensas de aperto					Página 113 de 159	
Material: EN 40CrMnMo7								Data: 08/01/2018	
Cadência: 1 peça								Responsável: Simão Lopes	
Operações de maquinagem			Dados de corte					Ferramentas	
Nº	Ref	Designação	Vc [m/min]	n [rpm]	fz [mm]	Vf [mm/min]	Ap [mm]	Maquinagem	Controlo
1	AD,AF,AG	Furação	80	6060	0,03	364	-	Broca MD Ø4,2	Paquímetro
2	AE,AH	Furação	70	4642	0,05	446	-	Broca MD Ø4,8	Paquímetro
3	AE,AH	Mandrilagem	12	800	0,02	100	-	Mandril MD Ø5H7	Paquímetro
4	AI,AJ	Acabamento	200	4000	0,145	2885	0,30	Fresa com insertos Ø16 Z=2	Paquímetro



## Ficha de Fase

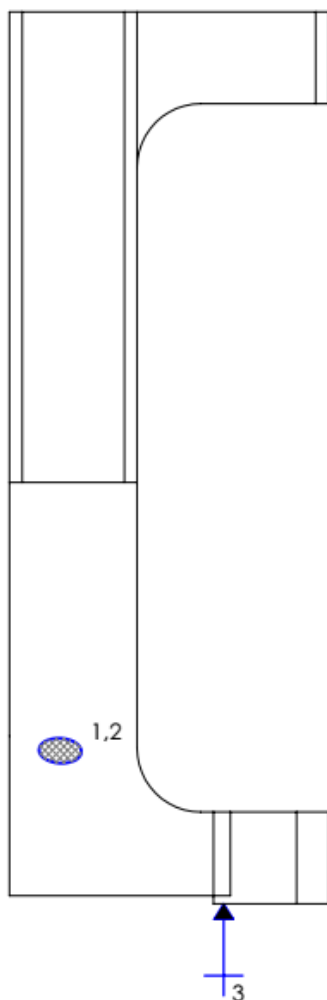
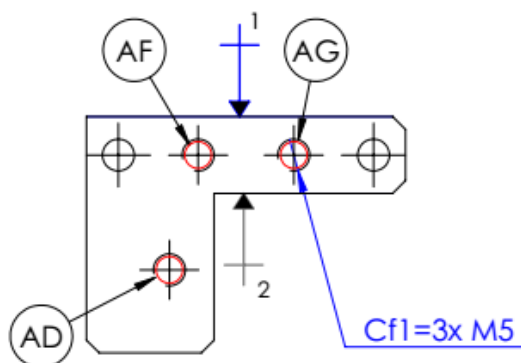
Fase nº: 40			Máquina: HAAS VF2-SS					Sector: Maquinação	
Projecto: 0950CAC17									
Peça: 10 02 215			Dispositivo de Aperto: Prensas de aperto					Página 114 de 159	
Material: EN 40CrMnMo7								Data: 08/01/2018	
Cadência: 1 peça								Responsável: Simão Lopes	
Operações de maquinagem			Dados de corte					Ferramentas	
Nº	Ref	Designação	Vc [m/min]	n [rpm]	f [mm/z]	Vf [mm/min]	Ap [mm]	Maquinagem	Controlo
1	Q	Furação	80	6060	0,03	364	-	Broca MD Ø4,8	Paquímetro
2	S	Furação	65	6269	0,025	314	-	Broca MD Ø3,2	Paquímetro
3	AB	Furação	90	5739	0,04	458	-	Broca MD Ø5,0	Paquímetro
4	AC	Desbaste	200	4000	0,125	2000	0,5	Fresa com insertos Ø16 Z=2	Paquímetro
5	N	Desbaste	200	4000	0,125	2000	0,5	Fresa com insertos Ø16 Z=2	Paquímetro
6	R,X,AA	Desbaste	130	6896	0,015	310	Ap=3 Ac=0,1	Fresa MD Ø6 Z=4	Paquímetro
7	AC	Acabamento	120	3183	0,055	700	Ap=15 Ac=0,05	Fresa MD Ø12 Z=4	Paquímetro
8	N	Acabamento	120	3183	0,055	700	0,2	Fresa MD Ø12 Z=4	Paquímetro
9	R,X,AA	Acabamento	100	3183	0,021	450	0,05	Fresa MD Ø12 Z=4	Paquímetro
10	S	Acabamento	75	6000	0,010	250	2,0	Fresa MD Ø4 Z=4	Paquímetro





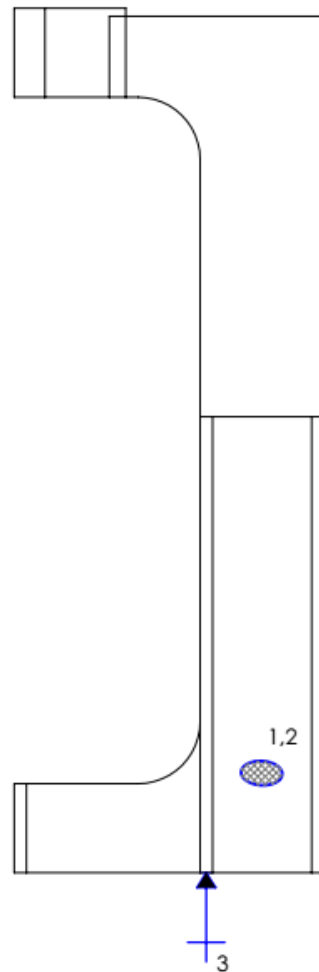
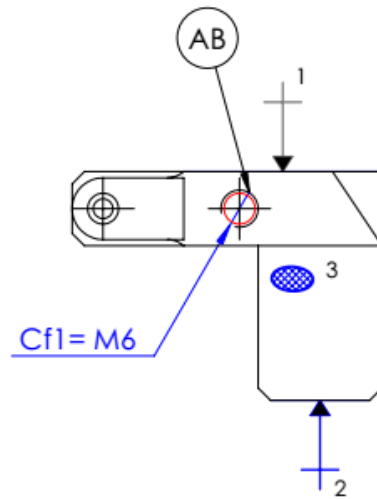
## Ficha de Fase

<b>Fase nº:</b> 50			<b>Máquina:</b> Roscamat 200					<b>Sector:</b> Maquinação	
<b>Projecto:</b> 0950CAC17									
<b>Peça:</b> 10 02 215			<b>Dispositivo de Aperto:</b> Prensas de aperto					<b>Página</b> 115 de 159	
<b>Material:</b> EN 40CrMnMo7								<b>Data:</b> 08/01/2018	
<b>Cadência:</b> 1 peça								<b>Responsável:</b> Simão Lopes	
<b>Operações de maquinagem</b>			<b>Dados de corte</b>					<b>Ferramentas</b>	
<b>Nº</b>	<b>Ref</b>	<b>Designação</b>	<b>Vc</b> [m/min]	<b>n</b> [rpm]	<b>f</b> [mm/z]	<b>Vf</b> [mm/min]	<b>Ap</b> [mm]	<b>Maquinagem</b>	<b>Controlo</b>
1	AD, AF, AG	Roscagem M5	-	-	-	-	-	Macho MD M5x0,8	-



## Ficha de Fase

Fase nº: 60			Máquina: Roscamat 200					Sector: Maquinação	
Projecto: 0950CAC17									
Peça: 10 02 215			Dispositivo de Aperto: Prensas de aperto					Página 116 de 159	
Material: EN 40CrMnMo7								Data: 08/01/2018	
Cadência: 1 peça								Responsável: Simão Lopes	
Operações de maquinagem			Dados de corte					Ferramentas	
Nº	Ref	Designação	Vc [m/min]	n [rpm]	f [mm/z]	Vf [mm/min]	Ap [mm]	Maquinagem	Controlo
1	AB	Roscagem M6	-	-	-	-	-	Macho MD M6X1,0	-



## VIII. Desenho Técnico – Caso de Estudo 2

[illegible]

## IX. Sequência de Maquinagem – Caso de Estudo 2

Sequência de maquinagem		
Projeto: 950CAC17	Peça: 02 02 117	Material – EN x160CrMoV12 1 (C265)
Responsável: Simão Lopes		Data: 16/08/2017
<b>Fase 10</b> <b>Máquina: HAAS TL1</b>		
Operações	Ferramentas	Desenhos + Isostatismo
- Facejamento em desbaste da Face L e K	Ferramenta de torneamento exterior em carbonetos	
<b>Fase 20</b> <b>Máquina: HAAS TL1</b>		
Operações	Ferramentas	Desenhos + Isostatismo
- Furação de ponto de L	Broca de Ponto HSS	
<b>Fase 30</b> <b>Máquina: HAAS TL1</b>		
Operações	Ferramentas	Desenhos + Isostatismo
- Torneamento em desbaste das Faces B, C, D, E, F, G, H, I - Torneamento em acabamento das Faces B, C, D, E, F, G, H, I	Ferramenta de desbaste em carbonetos Ferramenta de acabamento em carbonetos	
<b>Fase 40</b> <b>Máquina: HAAS TL1</b>		
Operações	Ferramentas	Desenhos + Isostatismo
- Torneamento em desbaste postigo - Torneamento em acabamento da Face A - Sangramento da Face J	Ferramenta de facejamento em carbonetos Ferro de Sangrar	
<b>Fase 50</b> <b>Máquina: Torno convencional</b>		
Operações	Ferramentas	Desenhos + Isostatismo
- Torneamento em acabamento da Face J	Ferramenta de acabamento em carbonetos	

## X. Fichas de Fase – Caso de Estudo 2

Ficha de Fase									
Fase nº: 10			Máquina: Torno CNC HAAS TL1					Sector: Torneamento	
Projecto: 0950CAC17									
Peça: 02 02 117			Dispositivo de Aperto: Bucha de 3 Grampos					Página 119 de 159	
Material: Aço C265								Data: 08/01/2018	
Cadência: 1 peça								Responsável: Simão Lopes	
Operações de maquinagem			Dados de corte					Ferramentas	
Nº	Ref	Designação	Vc [m/min ]	n [rpm ]	f [mm/rot ]	Vf [mm/min ]	Ap [mm ]	Maquinagem	Controlo
1	L	Torneament o Exterior em Desbaste	*	2000	0,2	-	0,75	Ferro de tornear com pastilha de carboneto [TNMG 160408MN]	Paquímetro
2	M	Torneament o Exterior em acabamento	*	2000	0,1	-	0,30	Ferro de tornear com pastilha de carboneto [TNMG 160408MN]	Paquímetro

Technical drawing of a lathe workpiece. The drawing shows a cylindrical part with a diameter of 3.15 ± 0.1 mm and a length of 10 ± 0.2 mm. The cross-section view shows a cylindrical part with a diameter of 8.20 ± 0.2 mm and a length of 1 ± 0.1 mm. The tool path is indicated by a red line. The drawing also shows the tool holder and the workpiece being machined.

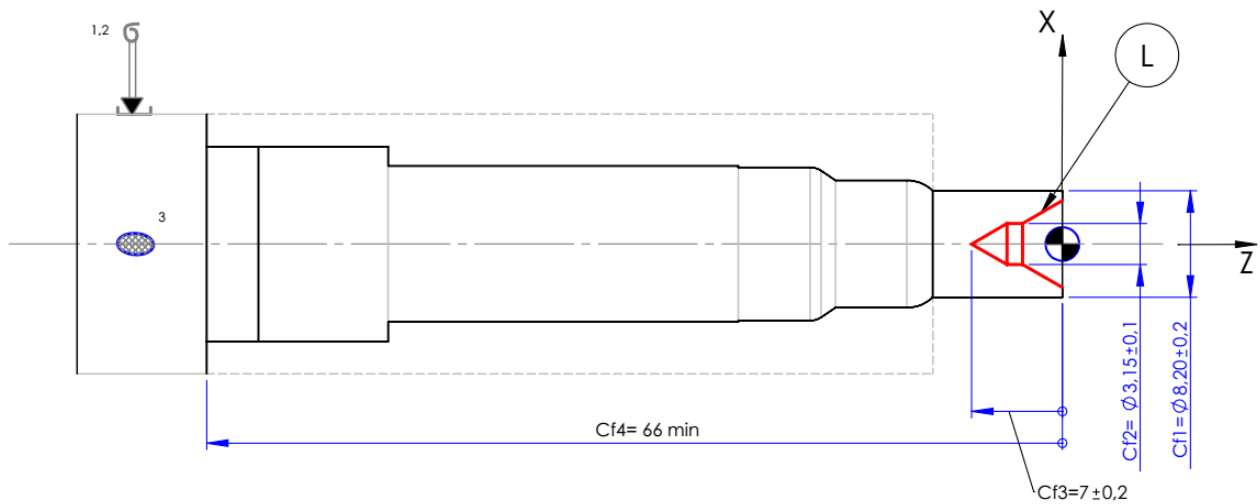
Legenda:

Bruto - - - - -

\* Velocidade de corte variável

## Ficha de Fase

Fase nº: 20			Máquina: Torno CNC HAAS TL1					Sector: Torneamento	
Projecto: 0950CAC17									
Peça: 02 02 117			Dispositivo de Aperto: Bucha de 3 Grampos					Página 120 de 159	
Material: Aço C265								Data: 08/01/2018	
Cadência: 1 peça								Responsável: Simão Lopes	
Operações de maquinagem			Dados de corte					Ferramentas	
Nº	Ref	Designação	Vc [m/min ]	n [rpm ]	f [mm/rot ]	Vf [mm/min ]	Ap [mm ]	Maquinagem	Controlo
1	K	Ponteam o	**	2000	**	**	-	Broca de ponto HSS	Paquímetro



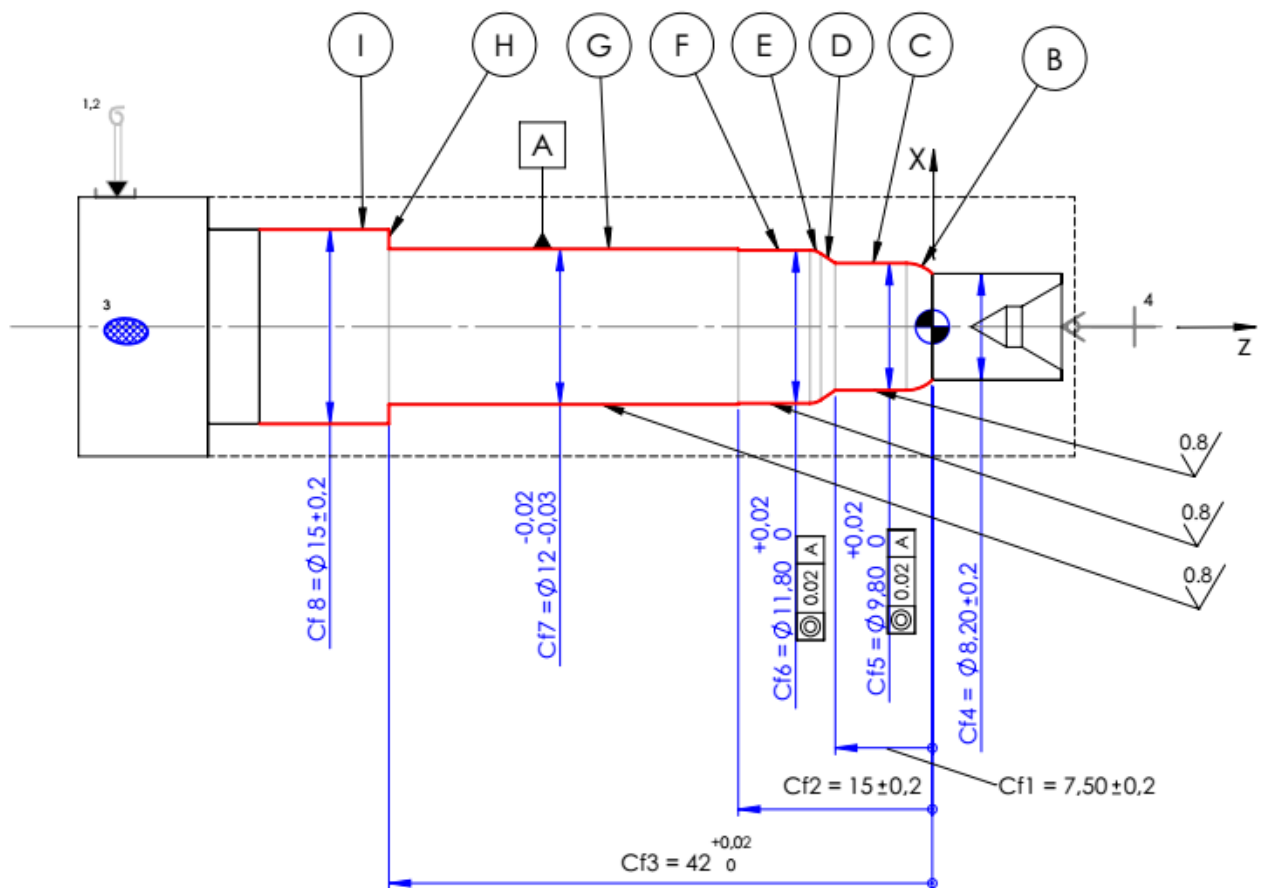
Legenda:

Bruto -----

\* Velocidade de corte variável  
\*\* Movimento e controlo manual

## Ficha de Fase

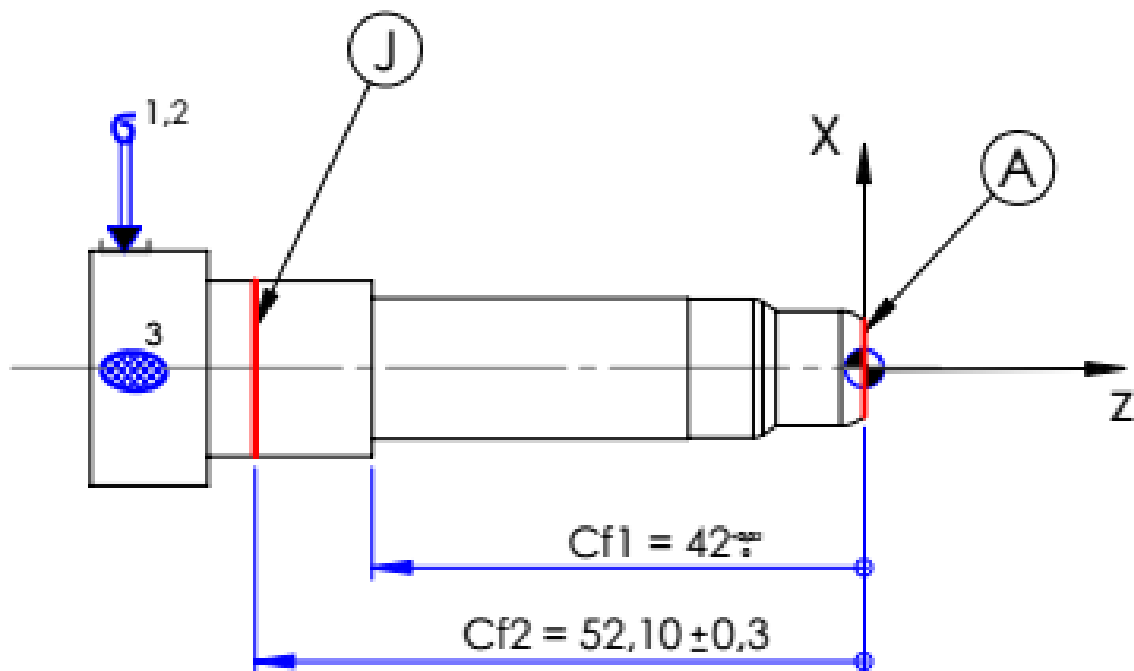
Fase nº: 30			Máquina: Torno CNC HAAS TL1					Sector: Torneamento	
Projecto: 0950CAC17									
Peça: 02 02 117			Dispositivo de Aperto: Bucha de 3 Grampos					Página 121 de 159	
Material: Aço C265								Data: 08/01/2018	
Cadência: 1 peça								Responsável: Simão Lopes	
Operações de maquinagem			Dados de corte					Ferramentas	
Nº	Ref	Designação	Vc [m/min ]	n [rpm ]	f [mm/rot ]	Vf [mm/min ]	Ap [mm ]	Maquinagem	Controlo
1	B,C,D,E,F,G,H,I	Desbaste Cilindrico	*	2000	0,2	-	0,75	Ferro de torneiar com pastilha de carboneto [TNMG 160408MN]	Micrómetro
2	B,C,D,E,F,G,H,I	Acabamento	*	2000	0,1	-	-	Ferro de torneiar com pastilha de carboneto [TNMG 160408MN]	Micrómetro



\* Velocidade de corte variável

## Ficha de Fase

Fase nº: 40			Máquina: Torno CNC HAAS TL1					Sector: Torneamento	
Projecto: 0950CAC17									
Peça: 02 02 117			Dispositivo de Aperto: Bucha de 3 Grampos					Página 122 de 159	
Material: Aço C265								Data: 08/01/2018	
Cadência: 1 peça								Responsável: Simão Lopes	
Operações de maquinagem			Dados de corte					Ferramentas	
Nº	Ref	Designação	Vc [m/min]	n [rpm]	f [mm/rot]	Vf [mm/min]	Ap [mm]	Maquinagem	Controlo
1	A	Facejamento em desbaste	*	2000	0,1	-	0,1	Ferro de tornear com pastilha de carboneto [SNMA 120406]	Batímetro
2	A	Facejamento em Acabamento	*	2000	0,1	-	0,1	Ferro de tornear com pastilha de carboneto [SNMA 120406]	Batímetro
3	J	Sangramento	*	500	**	-	-	Sangrador com pastilha de carboneto [EC030M03N00CF02]	Paquímetro e Micrómetro

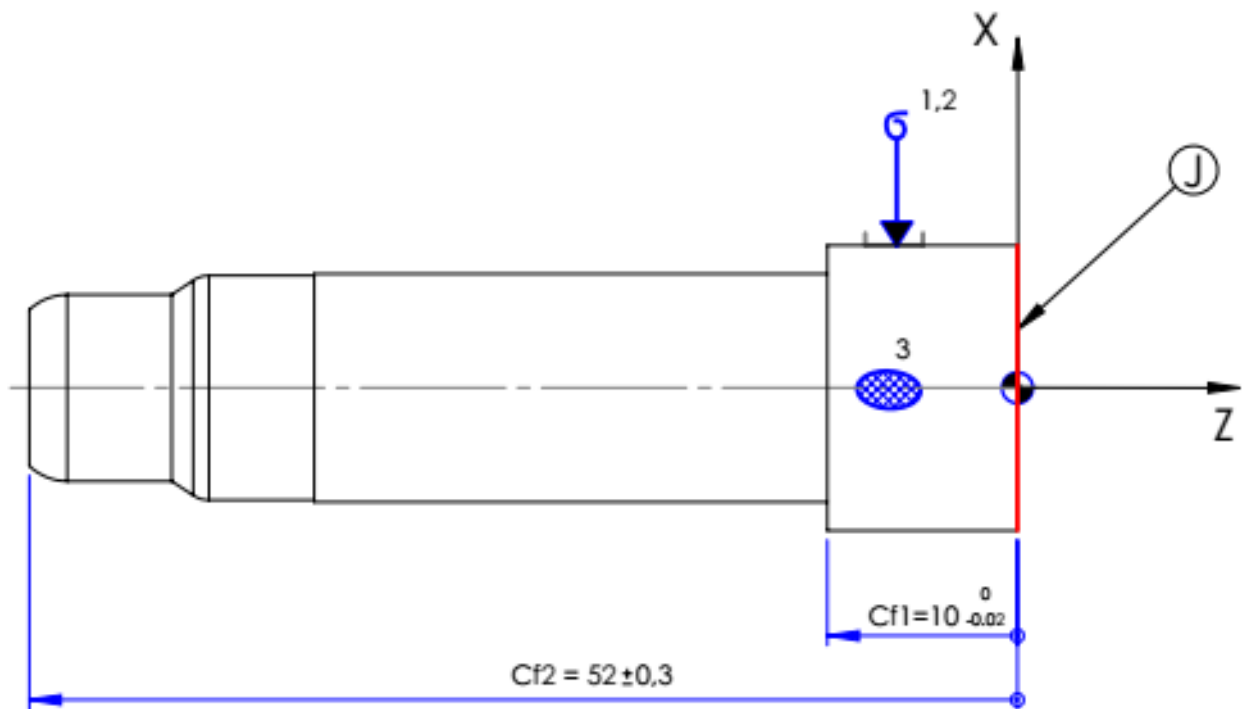


\* Velocidade de corte variável  
\*\* Movimento e controlo manual



## Ficha de Fase

Fase nº: 50			Máquina: Torno CNC HAAS TL1					Sector: Torneamento	
Projecto: 0950CAC17									
Peça: 02 02 117			Dispositivo de Aperto: Bucha de 3 Grampos					Página 123 de 159	
Material: Aço C265								Data: 08/01/2018	
Cadência: 1 peça								Responsável: Simão Lopes	
Operações de maquinagem			Dados de corte					Ferramentas	
Nº	Ref	Designação	Vc [m/min]	n [rpm]	f [mm/rot]	Vf [mm/min]	Ap [mm]	Maquinagem	Controlo
1	J	Facejamento em Acabamento	*	1800	**	**	**	Ferro de tornear com pastilha de carboneto [SNMA 120406]	Paquímetro e Comparador



\* Velocidade de corte variável  
\*\* Movimento e controlo manual

## VIII. Caso Estudo 2 - Código G

CÓDIGO G	COMENTÁRIOS
<b>O01308</b>	(-----0950CAC17 02 02 117-----)
<b>G40</b>	Cancelar compensação raio
<b>T101</b>	Ferramenta T1
<b>G54</b>	Zero Peça
<b>G00 Z0.3</b>	Mov. Rápido Z=0.3
<b>G00 X25.</b>	Mov. Rápido X=25
<b>G50 S1800</b>	Limite Max Rotação 1800 RPM
<b>G97 S2000</b>	Modo Rotação Constante
<b>T101</b>	
<b>G54</b>	
<b>G00 X25.</b>	Mov. Rápido X=25,00
<b>G00 Z0.3</b>	Mov. Rápido Z=0,30
<b>G00 X20.</b>	
<b>M03</b>	Início rotação horária
<b>M08</b>	Refrigeração ON
<b>G71 P10 Q20 U0.2 W0. D0.75 F0.2</b>	Ciclo desbaste - CONTORNO
<b>N10 G01 X8.2</b>	Mov. Linear X=8,20
<b>G01 G42 Z0.</b>	Compensação Raio à Direita
<b>G03 X9.8 Z-2.0 K-2 I-2.1</b>	Mov. anti-horário R=2,90
<b>G01 Z-7.5</b>	Mov. Linear Z=-7,50
<b>G01 X11.3 Z-8.62</b>	Mov. Linear X=11,3 Z=-8,62
<b>G03 X11.8 Z-9.45 K-0.83 I-1.25</b>	Mov. anti-horário R=1,50
<b>G01 Z-15.</b>	Mov. linear Z=-15,00
<b>G01 X12</b>	Mov. linear X=12,00
<b>G01 Z-42.</b>	Mov. linear Z=-42,00
<b>G01 X15.</b>	Mov. linear X=15,00
<b>G01 Z-56.</b>	Mov. linear Z=-56,00
<b>G01 X25.</b>	Mov. linear X=25,00
<b>N20 G00 G40 X25.</b>	Mov. rápido X=25,00 e Cancelamento da compensação do raio
<b>G00 Z0.</b>	Mov. rápido Z=0
<b>G00 X25.</b>	Mov. rápido X=25,00
<b>M01</b>	Pausa
<b>T101</b>	Ferramenta T1
<b>G54</b>	
<b>G97 S1800</b>	
<b>G00 X25.</b>	
<b>G00 Z0.3</b>	
<b>G00 X25.</b>	
<b>M03</b>	
<b>M08</b>	
<b>G70 P10 Q20 F0.13</b>	Ciclo Acabamento - CONTORNO
<b>G00 Z0.</b>	
<b>G00 X25.</b>	
<b>M01</b>	

<b>T101</b>	(TXX - SANGRADOR)
<b>G54</b>	
<b>G97 S1800</b>	
<b>G00 X25.</b>	
<b>G00 Z0.3</b>	
<b>G00 X25.</b>	
<b>M03</b>	
<b>M08</b>	
<b>G01 Z-42.</b>	(SANGRAMENTO) Compensação Ferramenta
<b>X0.</b>	Movimento Penetração
<b>X25</b>	Recuo ponto segurança X=25
<b>Z0.3</b>	Recuo ponto segurança Z=0.3
<b>M30</b>	Fim do Programa

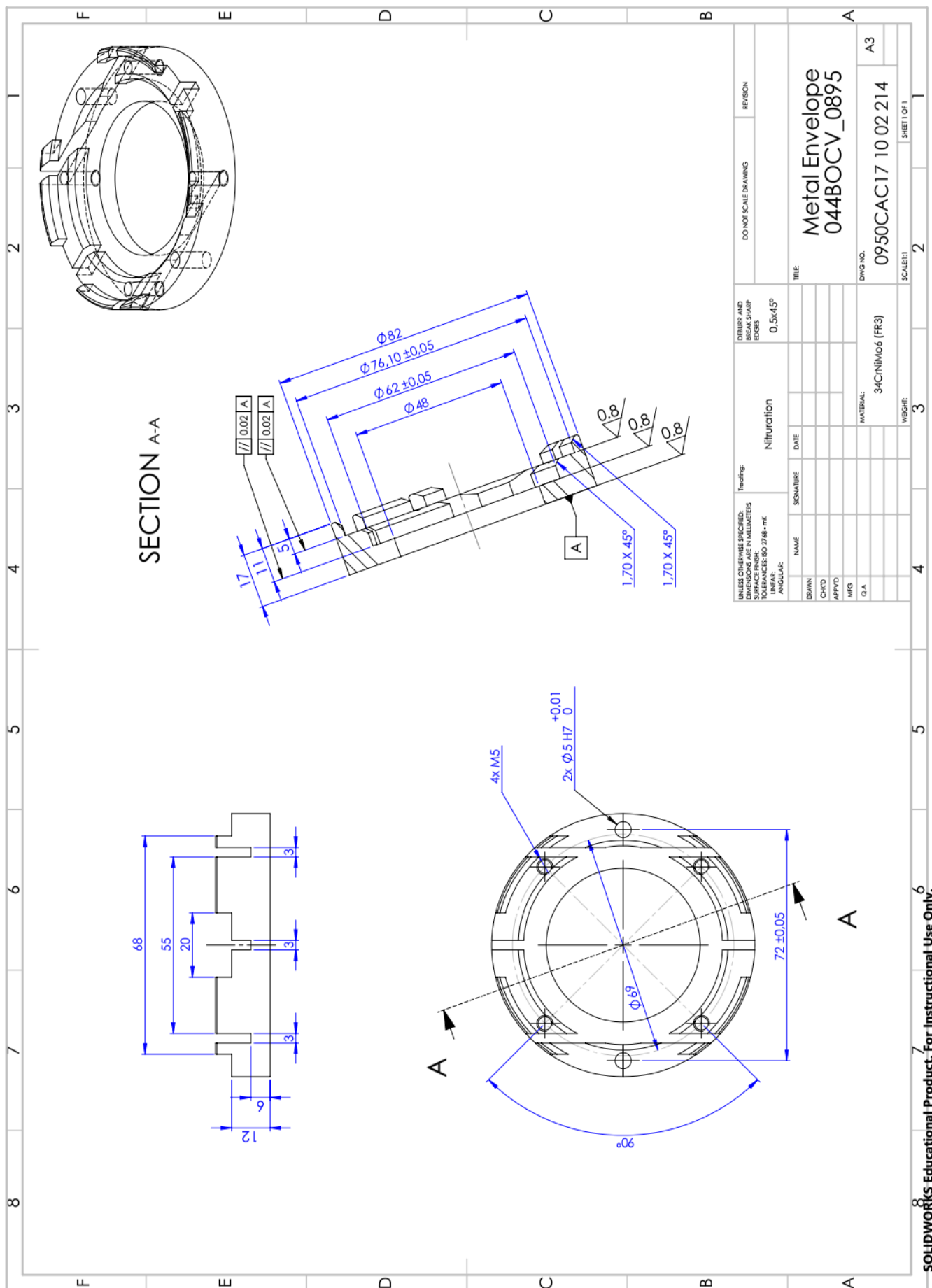
## IX. Desenho Técnico – Caso de Estudo 3

[illegible]

## X. Sequência de Maquinagem – Caso de Estudo 3

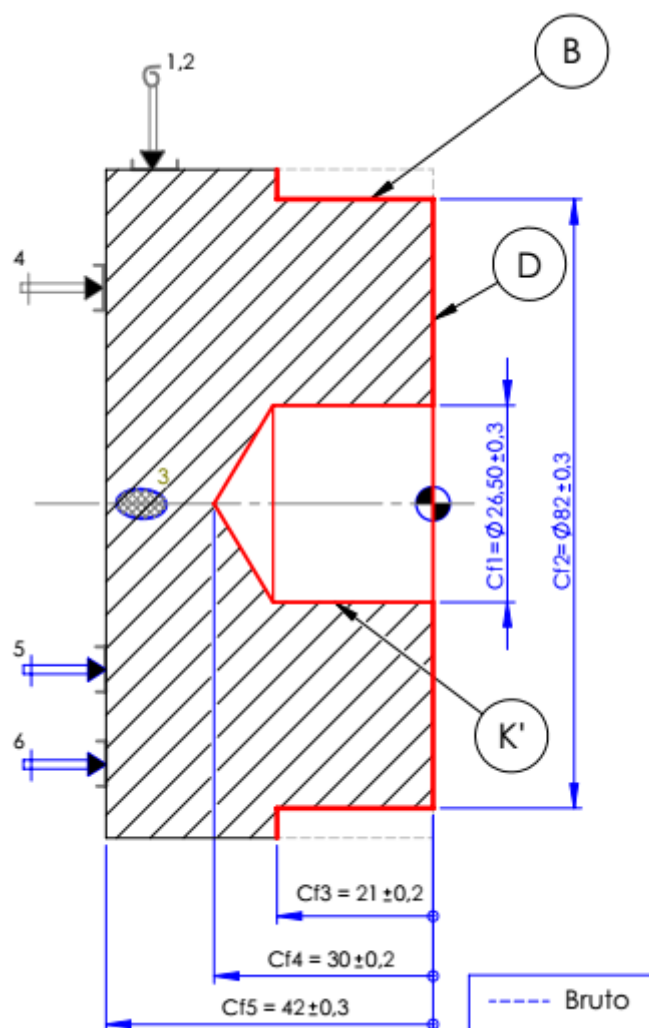
Sequência de maquinagem		
<b>Projecto:</b> 950CAC17	<b>Peça:</b> 10 02 214	<b>Material –</b> EN 34CrNiMo6 (FR3)
<b>Responsável:</b> Simão Lopes		<b>Data:</b> 22/08/2017
<b>Fase 10</b> <b>Máquina:</b> HAAS TL1		
Operações	Ferramentas	Desenhos + Isostatismo
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Facejamento em desbaste da D</li> <li>– Furação de ponto de K</li> <li>– Furação de K</li> <li>– Torneamento exterior em desbaste de B</li> <li>– Torneamento exterior em acabamento de B</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ferramenta de facejamento em carbonetos</li> <li>– Broca de Ponto HSS</li> <li>– Broca de HSS Ø8, Ø26</li> <li>– Ferramenta de torneamento exterior em carbonetos</li> </ul>	
<b>Fase 20</b> <b>Máquina:</b> HAAS TL1		
Operações	Ferramentas	Desenhos + Isostatismo
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Torneamento interior em Desbaste das faces E,F,G,I,J,K</li> <li>– Torneamento interior em acabamento das faces E,F,G,I,J,K</li> <li>– Sangramento de A</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ferramenta de torneamento interior em carbonetos</li> <li>– Ferro de Sangrar</li> </ul>	
<b>Fase 30</b> <b>Máquina:</b> HAAS VF2-SS		
Operações	Ferramentas	Desenhos + Isostatismo
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Furação de L, M, N, O</li> <li>– Furação de P,Q</li> <li>– Mandrilagem de P,Q</li> <li>– Desbaste de R, S, T, V, W, Y, Z e AA</li> <li>– Chanfro e Quebra Arestas de H e I,J</li> <li>– Acabamento de F, G, I, J, R, S, T, V, W, Y, Z e AA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Broca Helicoidal de Carbonetos</li> <li>– Broca Helicoidal de Carbonetos</li> <li>– Mandril</li> <li>– Fresa de Navalhas de Carbonetos</li> <li>– Chanfrador</li> <li>– Fresa de Navalhas de Carbonetos</li> </ul>	
<b>Fase 40</b> <b>Máquina:</b> Roscamat 200		
Operações	Ferramentas	Desenhos + Isostatismo
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Roscagem das roscas L, M, N, O</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Macho M5x0.8</li> </ul>	

## XI. Cotagem Fabrico - Caso de Estudo 3



## XII. Fichas de Fase - Caso de Estudo 3

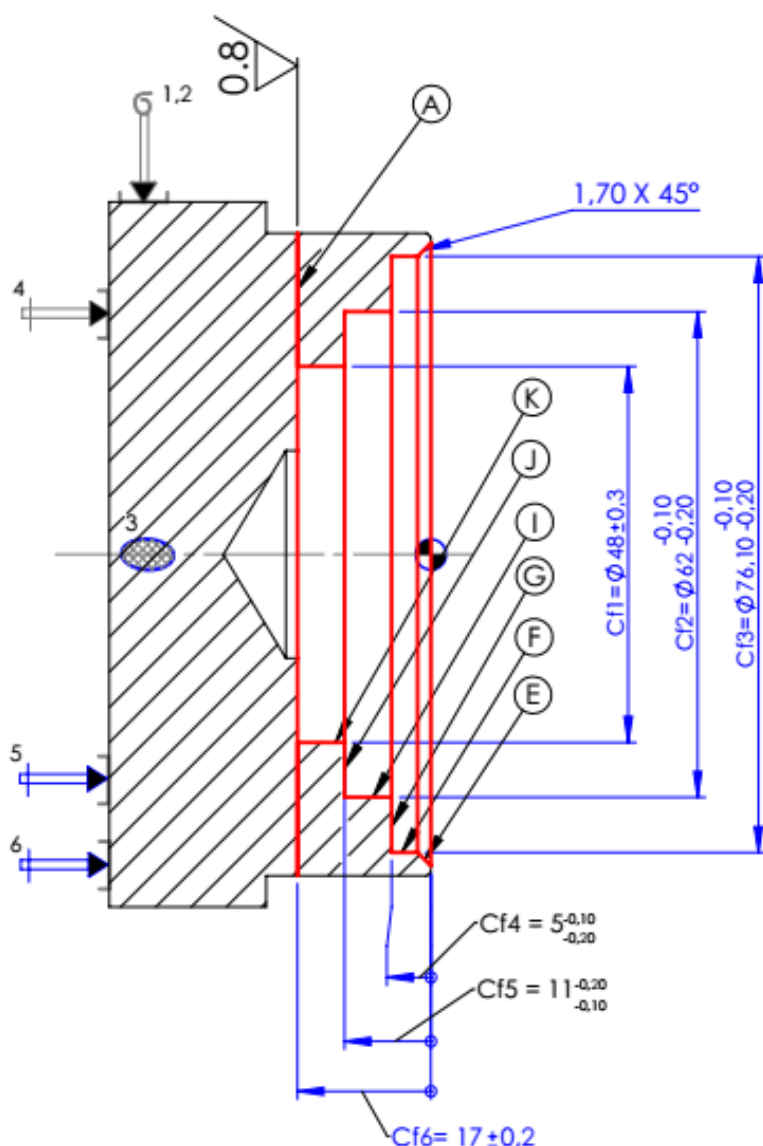
Ficha de Fase									
Fase nº: 10			Máquina: Torno CNC HAAS TL1					Sector: Torneamento	
Projecto: 0950CAC17									
Peça: 10 02 214			Dispositivo de Aperto: Bucha de 3 Grampos					Página 129 de 159	
Material: Aço FR3								Data: 08/01/2018	
Cadência: 1 peça								Responsável: Simão Lopes	
Operações de maquinagem			Dados de corte					Ferramentas	
Nº	Ref	Designação	Vc [m/min]	n [rpm]	f [mm/rot]	Vf [mm/min]	Ap [mm]	Maquinagem	Controlo
1	D, B	Torneamento Exterior em Desbaste	*	2000	0,2	-	0,75	Ferro de tornear com pastilha de carboneto [TNMG 160408MN]	Paquímetro
2	D, B	Torneamento Exterior em Acabamento	*	2000	0,1	-	0,3	Ferro de tornear com pastilha de carboneto [TNMG 160408MN]	Paquímetro
3	K'	Ponteamento	**	2000	**	**	-	Broca de ponto HSS	Paquímetro
4	K'	Furação	**	750	**	**	-	Broca HSS Ø 9,0	Paquímetro
5	K'	Furação	**	250	**	**	-	Broca HSS Ø 26,5	Paquímetro



\* Velocidade de corte variável  
\*\* Movimento e controlo manual

## Ficha de Fase

Fase nº: 20			Máquina: Torno CNC HAAS TL1					Sector: Torneamento	
Projecto: 0950CAC17									
Peça: 10 02 214			Dispositivo de Aperto: Bucha de 3 Grampos					Página 130 de 159	
Material: Aço FR3								Data: 08/01/2018	
Cadência: 1 peça								Responsável: Simão Lopes	
Operações de maquinagem			Dados de corte					Ferramentas	
Nº	Ref	Designação	Vc [m/min]	n [rpm]	f [mm/rot]	Vf [mm/min]	Ap [mm]	Maquinagem	Controlo
1	K,J,I,G,F,E	Torneamento Interior em Desbaste	*	2000	0,2	-	1,0	Ferro de torneamento interior com pastilha [CCMT060204]	Paquímetro
2	A	Sangramento	*	500	**	-	-	Sangrador com pastilha de carboneto [EC030M03N00CF02]	Paquímetro

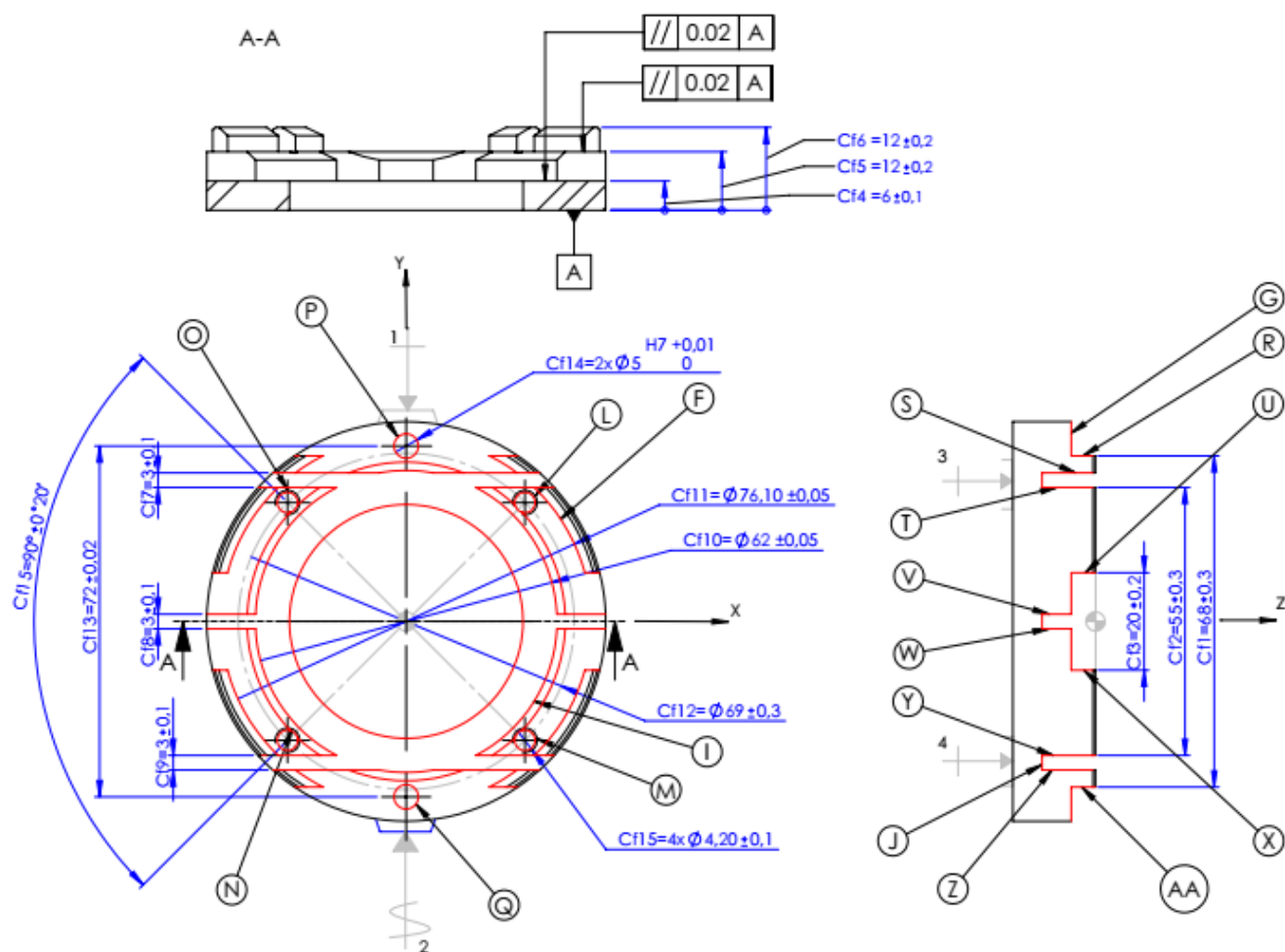


\* Velocidade de corte variável  
\*\* Movimento e controlo manual



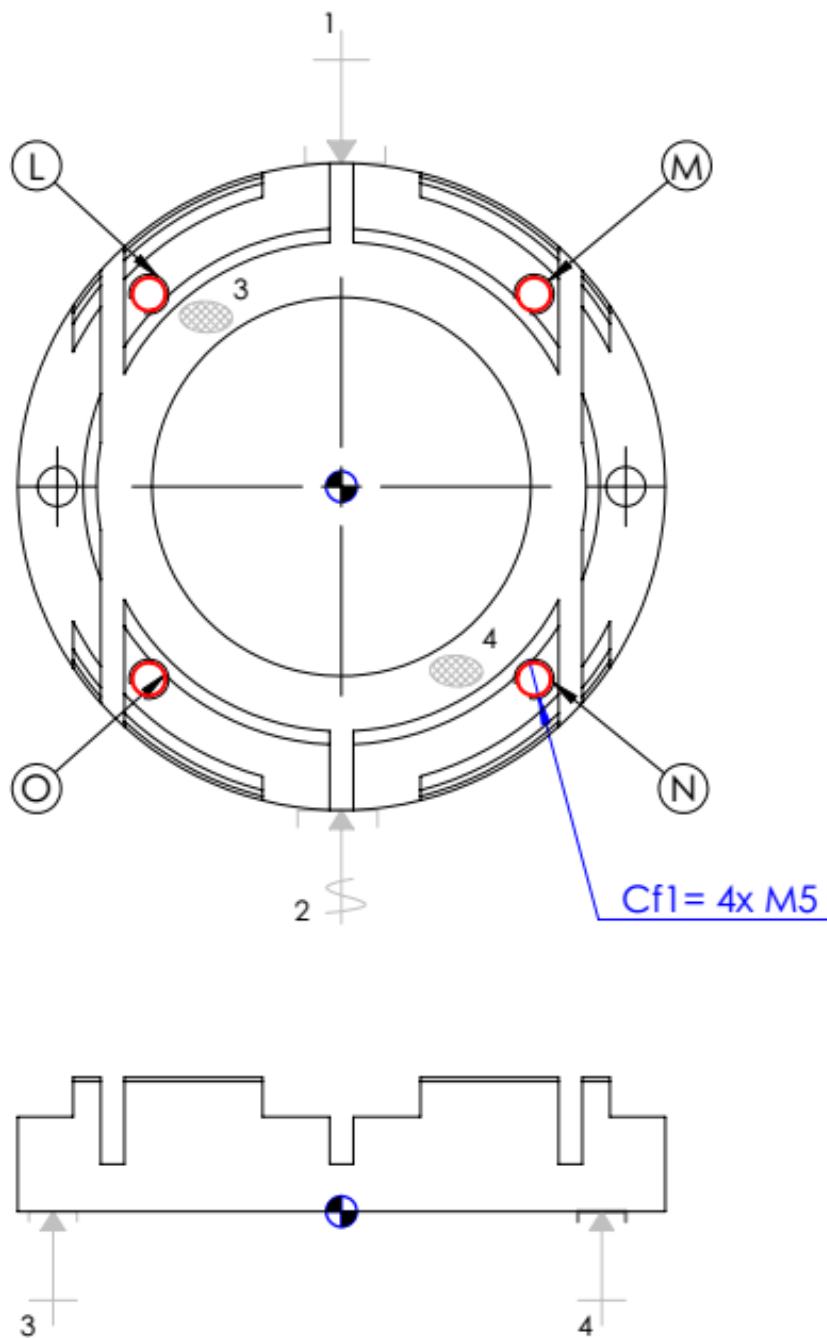
## Ficha de Fase

<b>Fase nº: 30</b>			<b>Máquina:</b> Centro Maquinação Haas VF2-SS					<b>Sector:</b> Maquinação	
<b>Projecto:</b> 0950CAC17								<b>Dispositivo de Aperto:</b> Prensa de aperto com mordentes maquinados	
<b>Peça:</b> 10 02 214			<b>Data:</b> 08/01/2018						
<b>Material:</b> Aço FR3			<b>Responsável:</b> Simão Lopes						
<b>Cadência:</b> 1 peça									
<b>Operações de maquinagem</b>			<b>Dados de corte</b>					<b>Ferramentas</b>	
Nº	Ref	Designação	Vc [m/min]	n [rpm]	fz [mm]	Vf [mm/min]	Ap [mm]	Maquinagem	Controlo
1	G,R,AA	Desbaste	160	4244	0,09	1273	Ap=5 Ae=0,09	Fresa MD Ø12 Z=2	Paquímetro
2	G,U,X	Desbaste	160	4244	0,06	1273	Ap=5 Ae=0,09	Fresa MD Ø12 Z=2	Paquímetro
3	J,S,T,Y,Z	Desbaste e Acabamento	104	11034	0,025	1103	Ap=0,15 Ae=3,0	Fresa MD Ø3 Z=4	Calibre 3mm
4	J,V,W	Desbaste e Acabamento	104	11034	0,025	1103	Ap=0,15 Ae=3,0	Fresa MD Ø3 Z=4	Calibre 3mm
5	P,Q	Furação	70	4642	0,096	446	-	Broca MD Ø 4,80	Paquímetro
6	P,Q	Mandrilagem	12	800	0,02	100	-	Mandril MD Ø 5H7	Calibre Ø5
7	L,M,N,O	Furação	80	6000	0,03	360	-	Broca MD Ø 4,20	Paquímetro
8	H e J,K	Chanfro	150	3000	0,16	500		Chanfrador	Paquímetro
9	I,J	Acabamento	120	3183	0,055	700	Ap=0,1 Ae=0,1	Fresa MD Ø12 Z=4	Calibre
10	G,F	Acabamento	120	3183	0,055	700	Ap=0,1 Ae=0,1	Fresa MD Ø12 Z=4	Paquímetro
11	G,R,AA	Acabamento	120	3183	0,055	700	Ap=0,1 Ae=0,1	Fresa MD Ø12 Z=4	Paquímetro
12	G,U,X	Acabamento	120	3183	0,055	700	Ap=0,1 Ae=0,1	Fresa MD Ø12 Z=4	Paquímetro

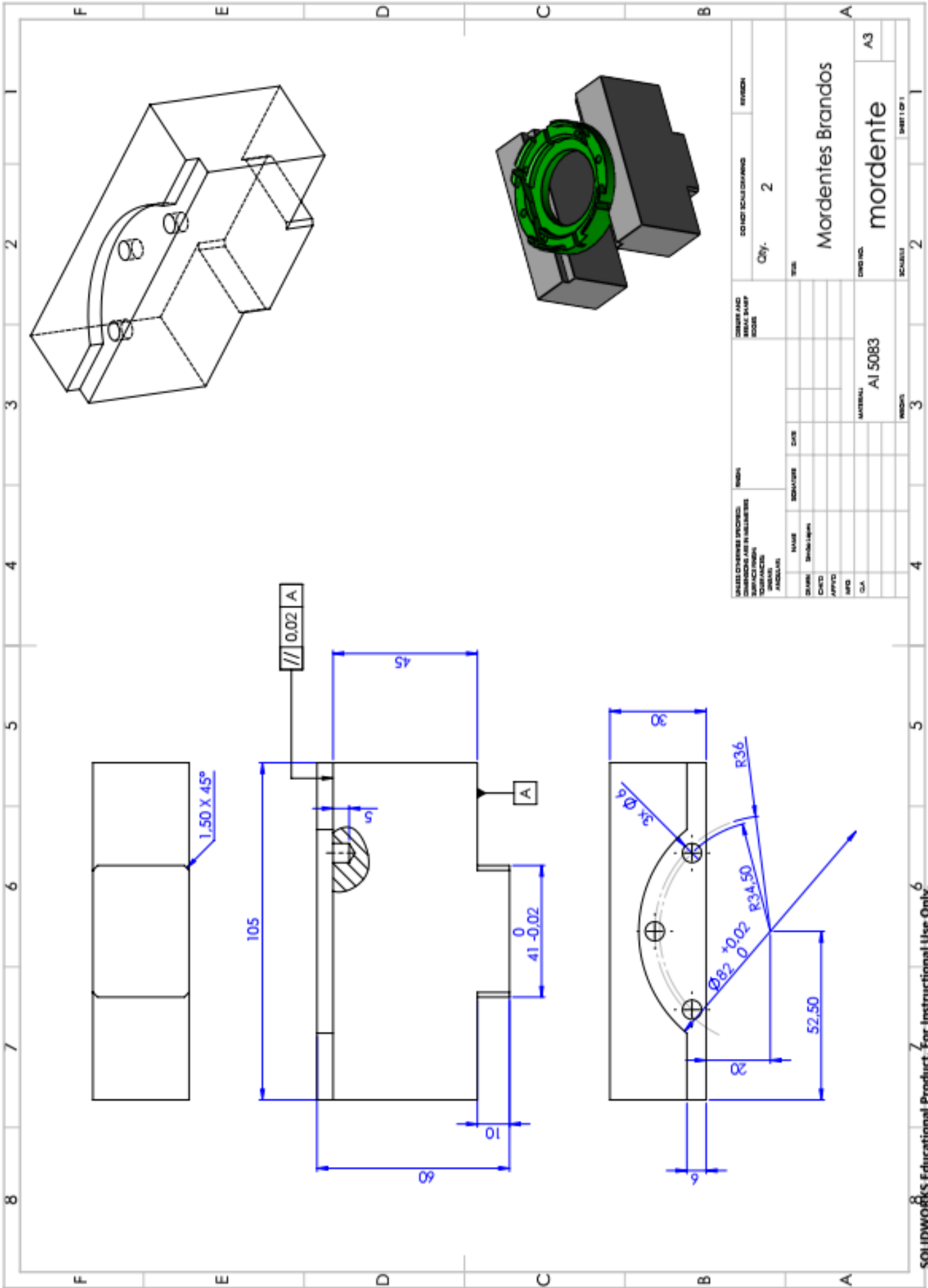


## Ficha de Fase

Fase nº: 40			Máquina: Roscamat 200					Sector: Maquinação	
Projecto: 0950CAC17									
Peça: 10 02 214			Dispositivo de Aperto: Prensa de aperto com calços calibrados					Página 132 de 159	
Material: Aço FR3								Data: 08/01/2018	
Cadência: 1 peça								Responsável: Simão Lopes	
Operações de maquinagem			Dados de corte					Ferramentas	
Nº	Ref	Designação	Vc [m/min]	n [rpm]	f [mm/rot]	Vf [mm/min]	Ap [mm]	Maquinagem	Controlo
1	L,M,N,O	Roscagem	-		-	-	-	Macho MD M5x0.8	-



XIII. Caso de Estudo 3 – Mordentes Brandos

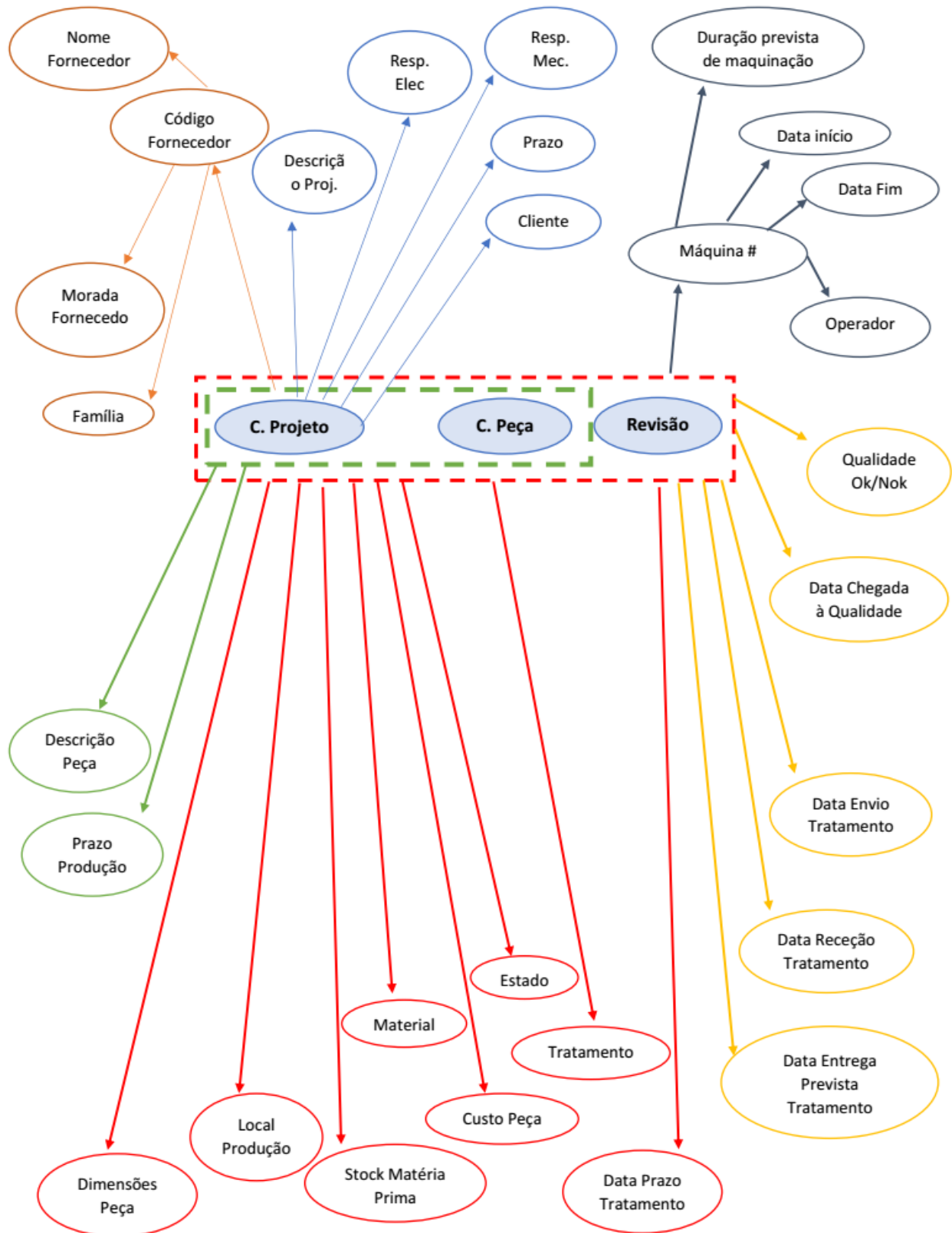


## XIV. Caso Estudo 3 - Código G (Torno)

CÓDIGO	COMENTÁRIOS
%O01309	(-----0950CAC17 10 02 214-----)
G40	Cancelar compensação do raio da ferramenta
T101	Ferramenta T101
G54	Zero peça
G00 Z50.	Mov. Rápido Z=50
G00 X50.	Mov. Rápido X=50
G50 S1800	Limite Max Rotação 1800 RPM
G97 S1800	Modo rotação constante
(DESBASTE EXT)	
T101	
G54	
M03	Rotação sentido horário
M08	Ligar refrigeração
G00 Z20.	Mov. Rápido Z=20
G00 X43.5	Mov. Rápido X=43,5
G00 Z2.	Mov. Rápido Z=2
G71 P10 Q20 U0.2 W0. D0.75 F0.20	Ciclo desbaste – contorno exterior
N10 G01 X41	Mov. Linear X=41
G01 G42 Z-21.	Mov. Linear com compensação da ferramenta à direita até Z-21
N20 G00 G40 X43.5	Mov. Rápido para X=43.5 e cancelamento da compensação da ferramenta
G00 Z50.	Mov. Rápido Z=50
G00 X50.	Mov. Rápido X=50
M01	Paragem de execução do programa
(ACABAMENTO EXT)	
G97 S1800	
T101	
G54	
M03	
M08	
G00 Z2.	
G70 P10 Q20 U0. W0. D0.75 F0.20	Ciclo de acabamento – Contorno Exterior
G00 Z50.	
G00 X50.	
M01	
(DESBASTE INT)	
G97 S1800	
T101	
G54	
G00 Z50.	
X10.	
Z0.1	
G71 P30 Q40 U0.2 W0.2 D0.75 F0.2	Ciclo de desbaste – Contorno Interior
N30 G00 X39.75 Z0.	
G01 X38.05 Z-1.7	
Z-5.	
X32.70	
X31. Z-6.70	

Z-11.	
X24.	
Z-22.	
N40 X10.	
G00 Z50.	
M01	
(ACABAMENTO INT)	
G97 S1800	
T101	
G54	
M03	
M08	
G00 X10.	
Z2.	
G70 P50 Q60 F0.1	Ciclo de acabamento – Contorno Interior
N50 G00 X39.75 Z0.	
N60 G01 X38.05 Z-1.7 (CHANFRO A)	
X32.7	
Z-5.	
X31. Z-6.70 (CHANFRO B)	
X24.	
Z-22. (FURO INT)	
G00 Z10.	
G28 U0.	
M30	Fim do programa

## XV. Mapa de variáveis – Caso de estudo 4



## XVI. Interface Gráfica – Caso de Estudo 4

### Página Inicial

Atena - Gestão de Projectos

**Gestão de Projectos - beta**

**Gestão de Produção**

Avisos / Erros / Projectos em Atraso

Projecto	Descrição Projecto	Cliente	Resp. Mecânico	Resp. Eléctrico	Proj. Mec	Proj. Eléc	Maquinação	Montagem Mec	Montagem Elec	Entrega Cliente	Estado
0944ANT17	Robotic Cell of Rail...	Antolin	Nuno	RespElec	04/07/2017	14/07/2017	25/08/2017	21/11/2017	20/11/2017	13/12/2017	Produção
0944CAC17	Robotic Cell of Rail...	Antolin	Nuno	RespElec	04/07/2017	14/07/2017	25/08/2017	21/11/2017	20/11/2017	13/12/2017	Produção
0944CAC17	Carregamento auto...	Renault - CACIA	RespMec	RespElec	04/07/2017	14/07/2017	25/08/2017	21/11/2017	20/11/2017	13/12/2017	Produção
0951SOD17	ST10 20 30 40 50	Sodetec	RespMec	RespElec	07/07/2017	11/08/2017	01/09/2017	30/11/2017	07/12/2017	14/12/2017	Produção
0952SON17	Gravação DataMatr...	Sonati	Pedro	RespMec	22/06/2017	07/07/2017	31/07/2017	07/08/2017	11/08/2017	20/08/2017	Concluido
0960CAC17	Poke Yoke BOCV G...	Renault - CACIA	Alain M	Luis T	20/11/2017	26/11/2017	15/12/2017	29/12/2017	05/01/2018	10/01/2018	Planeamento

Ligação BD: Ligada 28/11/2017 03:17:54

### Página de Planeamento

Atena - Gestão de Projectos

**Planeamento**

Projeto Nº:  Rev:  Qt: 1

☒ Peça Nº:

Produção: ☒ Int ☐ Ext Prioridade: 2-Média Material:  Tratamento:  Dim:  x  x  [mm]

Stock: ☒ Sim ☐ Não Entrega Bruto: 28 de novembro de 2017 Fornecedor:  Custo: 0 €

Maq Ext:  Prazo Produção: 28 de novembro de 2017 Estado: Projecto

Tipo: ☒ M ☐ T ☐ T+M Maq. Nº1: TM1P T Maq. Nº1: 0,0 (h/unã) Maq. Nº2: TM1P T Maq. Nº2: 0,0 (h/unã)

Filtrar Projectos: Todos Posto:  Início Produção: 28 de novembro de 2017 7:00

Pesquisar Inserir Atualizar Apagar

Projecto	Peça	Rev.	Qt.	Descrição	Prod.	Prioridade	Tipo	Material	Tratamento	Estado	Fim Prod	Stock	Bruto	Entrega Mat	T CNC(h)	Maq. CNC	L	C	H
0944ANT17	00 00 001	1	1	Int	2-Média	TM	M	Alumínio 5...	Montagem	Produção	25/08/2017	Sim	Em Stock	0,0	VF3	400	105	10	
0944ANT17	00 00 005	1	1	Int	1-Alta	M	M	Aço ST37	Zincagem	Produção	25/11/2017	Sim	1000	Em Stock	0,0	VF3	0	0	0
0944ANT17	00 00 006	1	1	Int	2-Média	M	M	Indefinido	Indefinido	Produção	26/09/2017	Sim	1000	Em Stock	0,0	VF3	0	0	0
0944ANT17	00 00 007	1	1	Int	2-Média	M	M	Indefinido	Indefinido	Maquinação	26/09/2017	Sim	1000	Em Stock	0,0	VF3	0	0	0
0944ANT17	00 00 008	1	1	Int	3-Baixa	M	M	Indefinido	Indefinido	Produção	26/09/2017	Sim	1000	Em Stock	0,0	VF3	0	0	0
0944ANT17	00 00 009	1	1	Int	2-Média	M	M	Indefinido	Indefinido	Produção	26/09/2017	Sim	1000	Em Stock	0,0	VF3	0	0	0
0944ANT17	00 00 043	1	1	Int	2-Média	M	M	Alumínio 5...	Montagem	Produção	31/09/2017	Sim	Em Stock	0,0	VF3	400	105	10	
0944ANT17	00 01 014	8	8	Int	2-Média	M	M	Alumínio 5...	Montagem	Produção	31/09/2017	Sim	Em Stock	0,0	TM1P	400	105	10	
0944ANT17	00 01 017	32	32	Int	2-Média	M	M	Alumínio 5...	Produção	Produção	31/09/2017	Sim	Em Stock	0,0	TM1P	0	0	0	
0944ANT17	00 01 014	8	8	Int	2-Média	M	M	Alumínio 5...	Montagem	Produção	31/09/2017	Sim	Em Stock	0,0	TM1P	400	105	10	
0951SOD17	50 01 116	2	2	Int	2-Média	M	M	Aço 2311	Oxidação a...	Produção	31/09/2017	Sim	Em Stock	0,0	VF3	400	105	10	
0951SOD17	50 01 220	2	2	Int	2-Média	M	M	Aço F10	Zincagem	Produção	31/09/2017	Sim	Em Stock	0,0	TL1	0	0	0	
0951SOD17	50 01 222	4	4	Int	2-Média	M	M	Aço F10	Oxidação a...	Produção	31/09/2017	Sim	Em Stock	0,0	VF3	0	0	0	
0951SOD17	50 01 229	2	2	Int	2-Média	M	M	Aço C265	T0 Têmpera	Montagem	31/09/2017	Sim	Em Stock	0,0	TM1P	0	0	0	
0951SOD17	50 01 231	2	2	Int	2-Média	M	M	Aço F10	Zincagem	Montagem	31/09/2017	Sim	Em Stock	0,0	TM1P	0	0	0	
0951SOD17	50 01 235	2	2	Int	2-Média	M	M	Aço 2311	Nituração	Montagem	31/09/2017	Sim	Em Stock	0,0	TM1P	0	0	0	
0951SOD17	50 01 311	2	2	Int	2-Média	M	M	Aço F10	Zincagem	Montagem	31/09/2017	Sim	Em Stock	0,0	TM1P	0	0	0	
0951SOD17	50 02 018	4	4	Int	2-Média	M	M	Aço F10	Zincagem	Montagem	31/09/2017	Sim	Em Stock	0,0	TM1P	0	0	0	
0951SOD17	50 02 112	1	1	Int	2-Média	M	M	Aço C265	T0 Têmpera	Montagem	31/09/2017	Sim	Em Stock	0,0	TM1P	0	0	0	

Ligação BD: Ligada 28/11/2017 03:18:42

## Página da Maquinação

Atena - Gestão de Projectos

**Maquinação**

Projeto Nº:  Peça Nº:  Rev:  Qt:

Máquina:  Operador:

Filtrar Projectos:  Posto:

**Iniciar** **Terminar** **Pesquisar**

Projeto	Peça	Rev.	Qt.	Descrição	Tipo	Prioridade	Estado	Data Produção	Maq. Actual	Op. Actual	Início Maq	Fim Maq	Total Maq (h)
0944ANT17	00 00 001	1	1		TM	2-Média	Montagem	01/09/2017	VF3				0
0944ANT17	00 00 005	1	1		M	1-Alta	Produção	28/11/2017	VF3				0
0944ANT17	00 00 006	1	1		M	2-Média	Produção	28/08/2017	VF3				0
0944ANT17	00 00 007	1	1		M	2-Média	Maquinação	28/08/2017	VF3				0
0944ANT17	00 00 008	1	1		M	3-Baixa	Produção	28/08/2017	VF3				0
0944ANT17	00 00 009	1	1		M	2-Média	Produção	28/08/2017	VF3				0
0944ANT17	00 00 043	1	1		M	2-Média	Montagem	01/09/2017	VF3				0
0944ANT17	00 01 014	8	32	Suporte Jiga	M	2-Média	Montagem	01/09/2017	TM1P		09/08/2017-13:54...		4.14
0944ANT17	00 01 017	32	8	Suporte Jiga	M	2-Média	Montagem	01/09/2017	TM1P		09/08/2017-11:14...		120.46
0945ANT17	00 01 014	8	2	Interface Prensa ...	M	2-Média	Tratamento	01/09/2017	VF3				0
09518OD17	50 01 116	2	2	Balente Rotula	M	2-Média	Produção	03/08/2017					0
09518OD17	50 01 220	2	4	Came Elevação	M	2-Média	Tratamento	04/08/2017	VF3				0
09518OD17	50 01 222	2	2		M	2-Média	Montagem	01/09/2017	TM1P				0
09518OD17	50 01 229	2	2		M	2-Média	Montagem	01/09/2017	TM1P				0
09518OD17	50 01 231	2	2		M	2-Média	Montagem	01/09/2017	TM1P				0
09518OD17	50 01 235	2	2		M	2-Média	Montagem	01/09/2017	TM1P				0
09518OD17	50 01 311	2	2		M	2-Média	Montagem	01/09/2017	TM1P				0
09518OD17	50 02 018	4	1	placa gaveta rasi...	M	2-Média	Montagem	01/09/2017	TM1P				0
09518OD17	50 02 112	1	1	rasthulsa direita	M	2-Média	Tratamento	01/09/2017	VF3				0
09518OD17	50 02 212	1	1		M	2-Média	Montagem	01/09/2017	TM1P				0
09518OD17	50 02 324	1	1		M	2-Média	Montagem	01/09/2017	TM1P				0

Ligação BD: Ligada 28/11/2017 03:19:02

## Página da Serralharia

Atena - Gestão de Projectos

**Serralharia**

Projeto Nº:  Peça Nº:  Rev:  Qt:

Operador:

Filtrar Projectos:

**Iniciar** **Terminar** **Pesquisar**

Projeto	Peça	Rev.	Qt.	Descrição	Estado	Data Produção	Operador	Início Prod	Fim Prod	Tempo Produção	Custo Soldadura
0944ANT17	00 00 001	1	1		Montagem	01/09/2017				0	0
0944ANT17	00 00 005	1	1		Produção	28/11/2017				0	0
0944ANT17	00 00 006	1	1		Produção	28/08/2017				0	0
0944ANT17	00 00 007	1	1		Maquinação	28/08/2017				0	0
0944ANT17	00 00 008	1	1		Produção	28/08/2017				0	0
0944ANT17	00 00 009	1	1		Produção	28/08/2017				0	0
0944ANT17	00 00 043	1	1		Montagem	01/09/2017				0	0
0944ANT17	00 01 014	8	32	Suporte Jiga	Montagem	01/09/2017				0	0
0944ANT17	00 01 017	32	8	Suporte Jiga	Montagem	01/09/2017				0	0
0945ANT17	00 01 014	8	2	Interface Prensa guia	Tratamento	01/09/2017				0	0
09518OD17	50 01 116	2	2	Balente Rotula	Produção	03/08/2017				0	0
09518OD17	50 01 220	2	4	Came Elevação	Tratamento	04/08/2017				0	0
09518OD17	50 01 222	2	2		Montagem	01/09/2017				0	0
09518OD17	50 01 229	2	2		Montagem	01/09/2017				0	0
09518OD17	50 01 231	2	2		Montagem	01/09/2017				0	0
09518OD17	50 01 235	2	2		Montagem	01/09/2017				0	0
09518OD17	50 01 311	2	2		Montagem	01/09/2017				0	0
09518OD17	50 02 018	4	1	placa gaveta raslhulsa	Montagem	01/09/2017				0	0
09518OD17	50 02 112	1	1	rasthulsa direita	Tratamento	01/09/2017				0	0
09518OD17	50 02 212	1	1		Montagem	01/09/2017				0	0
09518OD17	50 02 324	1	1		Montagem	01/09/2017				0	0


Ligação BD: Ligada 28/11/2017 03:19:23



## Página do controlo de qualidade

Atena - Gestão de Projectos

**Qualidade**

Projeto Nº:   

Peça Nº:   Rev:  Qt:

Controlo: ☐ OK ☐ NOK Receção Qualidade: 28 de novembro de 2017

Material:  Tratamento:  Envio Tratamento: 28 de novembro de 2017

Tratamento: ☐ OK ☐ NOK Fornecedor:   Receção Tratamento: 28 de novembro de 2017

Filtrar Projectos

Projeto	Peça	Rev	Qt	Descrição	Controlo	Trat.	Prioridade	Tipo	Material	Tratamento	Trat. For.	Estado	Produção	Rec. Qual.	Envio Trat	Rec. Trat
0944ANT17	00 00 005		1		-	-	1-Alta	M	Aço ST37	Zincagem		Produção	28/11/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900
0944ANT17	00 00 006	1			-	-	2-Média	M	Indefinido	Indefinido		Produção	28/09/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900
0944ANT17	00 00 007	1			-	-	2-Média	M	Indefinido	Indefinido		Maquinação	28/09/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900
0944ANT17	00 00 008	1			-	-	3-Baixa	M	Indefinido	Indefinido		Produção	28/09/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900
0944ANT17	00 00 009	1			-	-	2-Média	M	Indefinido	Indefinido		Produção	28/09/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900
0944ANT17	00 01 017	32			-	-	2-Média	M				Produção	09/09/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900
09518OD17	50 01 116	2		Interface Prem...	OK	-	2-Média	M	Aço 2311	Oxidação a N...	4003	Tratamento	01/09/2017	03/08/2017	03/08/2017	01/01/1900
09518OD17	50 01 220	2		Balante Rotula	-	-	2-Média	M	Aço F10	Zincagem		Produção	03/09/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900
09518OD17	50 01 222	4		Came Elevação	OK	-	2-Média	M	Aço F10	Oxidação a N...	4003	Tratamento	04/09/2017	04/08/2017	04/08/2017	01/01/1900
09518OD17	50 02 212	1		rastrilha direita	OK	-	2-Média	M	Aço C265	16 Témpera	4002	Tratamento	01/09/2017	03/08/2017	03/08/2017	01/01/1900

Ligação BD: Ligada 28/11/2017 03:19:49

## Página do Projecto

Atena - Gestão de Projectos

**Projecto**

Código Projecto:  Descrição Projecto:  Cliente:

Resp.Proj. Mec:  Resp. Proj. Eléctrico:  Estado:

Proj. Mec: 28 de novembro de 2017  Montagem Mec: 28 de novembro de 2017

Proj. Elec: 28 de novembro de 2017  Montagem Elec: 28 de novembro de 2017

Maquinação: 28 de novembro de 2017  Entrega Final: 28 de novembro de 2017

Projeto	Descrição Projecto	Cliente	Resp. Mecânico	Resp. Eléctrico	Proj. Mec	Proj. Eléc	Maquinação	Montagem Mec	Montagem Elec	Entrega Cliente	Estado
0944ANT17	Robotic Cell of Rail S...	Antolin	Nuno	RespElec	04/07/2017	14/07/2017	25/08/2017	21/11/2017	28/11/2017	13/12/2017	Produção
0945ANT17	Robotic Cell of Rail S...	Antolin	Nuno	RespElec	04/07/2017	14/07/2017	25/08/2017	24/11/2017	30/11/2017	22/12/2017	Produção
0948CAC17	Carregamento autom...	Renault - CACIA	RespMec	RespElec	14/07/2017	24/07/2017	28/11/2017	05/12/2017	07/12/2017	14/12/2017	Produção
09518OD17	BT10 20 30 40 50	Sodecia	RespMec	RespElec	07/07/2017	11/08/2017	01/09/2017	30/11/2017	07/12/2017	15/12/2017	Produção
09528ON17	Gravação DataMatrix...	Sonafi	Pedro	RespMec	22/06/2017	07/07/2017	31/07/2017	07/08/2017	11/08/2017	29/08/2017	Concluido
0960CAC17	Poke Yoke BOCV Gen...	Renault - CACIA	Alain M	Luís T	20/11/2017	24/11/2017	15/12/2017	29/12/2017	05/01/2018	10/01/2018	Planeamento

Ligação BD: Ligada 28/11/2017 03:20:14

## Página de Fornecedores

Atena - Gestão de Projectos

Início

Planeamento

Maquinação

Serralharia

Qualidade

Projecto

Fornecedores

Sair

Atena

### Fornecedores

Cod. Fornecedor:

Nome Fornecedor:

Familia:

Morada:

Tel:

Mail:

Pessoa a contactar:

Pesquisar

Atualizar

Inserir

Apagar

Código Fornecedor	Nome	Tipo	Responsável	Tel.	E-Mail	Morada
1009	Ramada Aços	Metais	pessoa	000000000	orcamentos@ramada.pt	Ovar
1002	Metalcobre	Metais	pessoa	000000000	mail	Ovar
1003	Sebastian Fustel	Metais	pessoa	000000000	mail	Ovar
1010	KMS - Alumínio	Metais	pessoa	000000000	kms	Ovar
1011	Lanema	Metais	pessoa	000000000	mail	Ovar
1012	Status Alumínio	Metais	pessoa	000000000	mail	Ovar
1013	O Leal	Metais	pessoa	000000000	mail	Ovar
2000	Kennametal	Ferramentas	pessoa	000000000	mail	morada
2001	Hoffman	Ferramentas	pessoa	000000000	mail	morada
2002	Sumitomo	Ferramentas	pessoa	000000000	mail	morada
2003	MF Metal - Frieze	Ferramentas	pessoa	000000000	mail	morada
2004	Jcoelho	Ferramentas	pessoa	000000000	mail	morada
3000	JMJ - Maquinações	Maquinação	pessoa	000000000	mail	morada
4000	Tratamento	-	-	000000000	-	-
4001	Galvup - Zincagem	Tratamento	Galvup	234721670	galvup@galvup.com.pt	Oliá
4002	Haertha - Nituração	Tratamento	José Galhano	234690270	paula@haertha.pt	Águeda
4003	Oxidação a Negro	Tratamento	Rui Duarte	964187877	ruid@sapo.pt	Santa Joana - Aveiro
4004	Cicloprateado	Tratamento	Daniela	925972102	cicloprateado@sapo.pt	Oliá - Lacagem
4005	Samagaio&Capão	Tratamento	Alexandra Capão	915960167	-	Paiçã - Decapagem/Metalização/Pin...

Ligação BD: Ligada28/11/2017 03:20:41

## Página do programação de trabalho diário

Planeamento Maquinação - Diário

Haas TM1-P

Haas VF2-SS

Haas VF3

Haas VF8

Haas TL1

Torno Mecânico

Fresa Convencional

Rectificadora

7:00	0951SOD17 50 01 220	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	0944ANT17 00 00 043	0951SOD17 50 01 235	-	-	-
7:30	0951SOD17 50 01 220	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	0944ANT17 00 00 043	0951SOD17 50 01 235	-	-	-
8:00	0951SOD17 50 01 220	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	0944ANT17 00 00 043	0951SOD17 50 01 235	-	-	-
8:30	0951SOD17 50 01 220	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	0944ANT17 00 00 043	0951SOD17 50 01 235	-	-	-
9:00	-	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	0944ANT17 00 00 043	-	-	-	-
9:30	-	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	0944ANT17 00 00 043	0944ANT17 00 00 001	-	-	-
10:00	-	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	0944ANT17 00 00 043	0944ANT17 00 00 001	-	-	0951SOD17 50 01 229
10:30	0944ANT17 00 00 001	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	0944ANT17 00 00 043	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
11:00	0944ANT17 00 00 001	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	0944ANT17 00 00 043	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
11:30	0944ANT17 00 00 001	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	0944ANT17 00 00 043	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
12:00	0944ANT17 00 00 001	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	0944ANT17 00 00 043	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
12:30	-	0944ANT17 00 01 017	0951SOD17 50 01 229	0944ANT17 00 00 043	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
13:00	-	0944ANT17 00 01 017	-	0944ANT17 00 00 043	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
13:30	-	0944ANT17 00 01 017	-	0944ANT17 00 00 043	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
14:00	-	0944ANT17 00 01 017	-	0944ANT17 00 00 043	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
14:30	-	0944ANT17 00 01 017	-	0944ANT17 00 00 043	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
15:00	-	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
15:30	-	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
16:00	-	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
16:30	-	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
17:00	-	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
17:30	0951SOD17 50 02 212	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	0951SOD17 50 01 229
18:00	0951SOD17 50 02 212	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	-
18:30	0951SOD17 50 02 212	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	-
19:00	0951SOD17 50 02 212	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	-
19:30	0951SOD17 50 02 212	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	-
20:00	0951SOD17 50 02 212	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	-
20:30	-	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	-
21:00	-	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	-
21:30	-	0944ANT17 00 01 017	-	0951SOD17 50 02 112	-	-	-	-
22:00	-	0944ANT17 00 01 017	-	-	-	-	-	-
22:30	-	0944ANT17 00 01 017	-	-	-	-	-	-

4

novembro de 2017

seg ter qua qui sex sáb

45 30 31 1 2 3 4

46 6 7 8 9 10 11

47 13 14 15 16 17 18

48 20 21 22 23 24 25

49 27 28 29 30 1 2

50 4 5 6 7 8 9

Hoje: 28/11/2017

Máquina ☒ Máquina 1 ☐ Máquina

Máquina: TMP

Hora: 7:00

Projecto: 0944ANT17 0945ANT17 0951SOD17

Peças:

Planear Hora Limpar Hora

Planear Remover

Limpar Dia

Peça: 0951SOD17 50 02 212

Dia: 28/11/2017

Duração:

Imprimir Sair

Ligação BD: Ligada28/11/2017 03:40:43

## Página de peças em produção

Gestão Projectos - Peça

Projectos: Local Produção: Estado: Material: Tratamento: Tipo: Prioridade: Filtrar

Projecto	Peça	Rev	Qt	Descrição	Prioridade	Tipo	Local Prod.	Controlo	Trat.	Material	Tratamento	Estado	Produção	Rec. Qual.	Envio Trat	Rec. Trat
0944ANT17	00 00 001		1		2-Média	TM	Int	-	-	Alumínio 5083		Montagem	01/09/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900
0944ANT17	00 00 005		1		1-Alta	M	Int	-	-	Aço ST37	Zincagem	Produção	28/11/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900
0944ANT17	00 00 006		1		2-Média	M	Int	-	-	Indefnido	Indefnido	Produção	26/08/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900
0944ANT17	00 00 007		1		2-Média	M	Int	-	-	Indefnido	Indefnido	Maquinação	26/08/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900
0944ANT17	00 00 008		1		3-Baixa	M	Int	-	-	Indefnido	Indefnido	Produção	26/08/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900
0944ANT17	00 00 009		1		2-Média	M	Int	-	-	Indefnido	Indefnido	Produção	26/08/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900
0944ANT17	00 00 043		1		2-Média	M	Int	OK	OK	Alumínio 5083		Montagem	01/09/2017	03/08/2017	03/08/2017	03/08/2017
0944ANT17	00 01 014		8	Suporte Jigs	2-Média	M	Int	-	-	Alumínio 5083		Montagem	01/08/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900
0944ANT17	00 01 017		32		2-Média	M	Int	-	-			Produção	09/08/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900
0945ANT17	00 01 014		8	Suporte Jigs	2-Média	M	Int	-	-	Alumínio 5083		Montagem	01/08/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900
0951SOD17	50 01 116		2	Interface Press.	2-Média	M	Int	OK	-	Aço Z311	Oxidação a Ne.	Tratamento	01/09/2017	03/08/2017	03/08/2017	01/01/1900
0951SOD17	50 01 220		2	Batente Rotula	2-Média	M	Int	-	-	Aço F10	Zincagem	Produção	03/08/2017	01/01/1900	01/01/1900	01/01/1900
0951SOD17	50 01 222		4	Came Elevação	2-Média	M	Int	OK	-	Aço F10	Oxidação a Ne.	Tratamento	04/08/2017	04/08/2017	04/08/2017	01/01/1900
0951SOD17	50 01 229		2		2-Média	M	Int	OK	OK	Aço C265	T6 Témpera	Montagem	01/09/2017	01/08/2017	01/08/2017	03/08/2017
0951SOD17	50 01 231		2		2-Média	M	Int	OK	OK	Aço F10	Zincagem	Montagem	01/09/2017	01/08/2017	01/08/2017	03/08/2017
0951SOD17	50 01 235		2		2-Média	M	Int	OK	OK	Aço Z311	Nituração	Montagem	01/09/2017	01/08/2017	01/08/2017	03/08/2017
0951SOD17	50 01 311		2		2-Média	M	Int	OK	OK	Aço F10	Zincagem	Montagem	01/09/2017	01/08/2017	01/08/2017	03/08/2017
0951SOD17	50 02 018		4		2-Média	M	Int	OK	OK	Aço F10	Zincagem	Montagem	01/09/2017	01/08/2017	01/08/2017	03/08/2017
0951SOD17	50 02 112		1	placa gaveta r.	2-Média	M	Int	OK	OK	Aço C265	T6 Témpera	Montagem	01/09/2017	01/08/2017	01/08/2017	03/08/2017
0951SOD17	50 02 212		1	rastilho direito	2-Média	M	Int	OK	-	Aço C265	T6 Témpera	Tratamento	01/09/2017	03/08/2017	03/08/2017	01/01/1900
0951SOD17	50 02 324		1		2-Média	M	Int	OK	OK	Aço F10	Zincagem	Montagem	01/09/2017	01/08/2017	01/08/2017	03/08/2017
0951SOD17	50 03 014		4		2-Média	M	Int	OK	OK	Aço F10	Zincagem	Montagem	01/09/2017	01/08/2017	01/08/2017	03/08/2017